

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Návrh nové technologie výroby
lopatkového kola v podmínkách firmy
BELT PLAST s.r.o.**

**Design of a New Technology of Padle Wheel
Production under the Conditions
of Belt Plast s.r.o.**

Student:

Bc. Pavel Česnek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Česnek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh nové technologie výroby lopatkového kola v podmínkách firmy
BELT PLAST s.r.o.
Design of a New Technology of Padle Wheel Production under the
Conditions of Belt Plast s.r.o.**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Návrh nové technologie výroby.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.

ERDL, BERT P. *High-speed machinig*. Dearborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0-87263-649-6.

NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: **Luboš Slabý**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

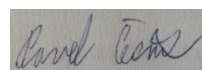



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2018

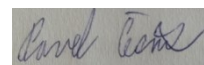


Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Česnek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kníničská 88, Ostrovačice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ČESNEK, P. Návrh nové technologie výroby lopatkového kola v podmínkách firmy BELT PLAST s.r.o.: *Diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, s. 64 Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie výroby lopatkového kola. V první části práce je popsáno rozdělení plastových materiálů a jejich vlastností. Dále se práce zabývá technologiemi zpracování plastů. Ve druhé praktické části jsou popsány používané materiály pro výrobky ve společnosti Belt Plast s.r.o. Je zde zahrnut návrh výrobku, popis materiálu součásti, použité řezné nástroje, technologie obrábění a využití obráběcí stroje. Daná součást je navržena, programována a vyrobena v prostředí společnosti. K výrobku je dodána kompletní technická dokumentace včetně výkresu součásti, technologického postupu a seřizovacího listu pro vyráběnou součást. Konečným výsledkem je technicko - ekonomické zhodnocení výroby lopatkového kola.

Klíčová slova: Lopatkové kolo; plasty; polymery; obrábění plastů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ČESNEK, P. Design of a New Technology of Padle Wheel Production under the Conditions of Belt Plast s.r.o.: *Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering and Engineering Metrology, 2018, p. 64 Thesis supervisor: Kratochvíl, J.

This diploma thesis deals with a design of a new technology for the production of a padle wheel. The first part of the thesis describes the distribution of plastic materials and their characteristics. Furthermore, the first part of the thesis deals with plastics processing technologies. The second part of the thesis is practical. It describes the materials used for products in Belt Plast s.r.o. This includes product design, description of component material, both cutting and machine tools employed, and machining technology. The component is designed, programmed, and produced in the company environment. The complete technical documentation including the component drawing, the technological procedure and the adjustment sheet for the manufactured part is supplied with the product. The final result is the technical and economic evaluation of the padle wheel production.

Key words: Padle wheel; Plastics; Polymers; Machining of Plastics.

OBSAH

Úvod	11
1 Plastové materiály	12
1.1 Historie a vývoj plastů	12
1.2 Základní pojmy	12
1.3 Rozdělení plastů.....	13
1.4 Přísady	16
1.5 Mechanické vlastnosti plastů	18
1.6 Elektrické vlastnosti.....	18
1.7 Tepelné vlastnosti	18
1.8 Optické vlastnosti	18
1.9 Fyzikální vlastnosti	19
2 Technologie zpracování plastů.....	20
2.1 Vstřikování	20
2.2 Lisování a přetlačování.....	21
2.3 Vytlačování.....	22
2.4 Vyfukování	23
2.5 Tvarování.....	23
2.6 Válcování.....	24
2.7 Odlévání.....	25
2.8 3D tisk.....	25
2.9 Třískové obrábění	26
3 Používané plastové materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o.....	30
3.1 Polyamid (PA)	30
3.2 Polyoxymetylen (POM).....	31
3.3 Polyetylen (PE).....	32
3.4 Polykarbonát (PC)	33

3.5	Polyetylentereftalát (PET)	33
3.6	Polyvinylchlorid (PVC)	34
3.7	Polypropylen (PP).....	34
3.8	Polytetrafluoretylen (PTFE)	35
3.9	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	35
3.10	Polyetereterketon (PEEK)	36
4	Popis vyráběné součásti	37
5	Popis materiálu součásti	38
6	Použité stroje při výrobě lopatkového kola.....	39
6.1	Formátovací pila Kappa 40.....	39
6.2	Obráběcí centrum ACCORD 25 FX – M	40
6.3	Seřizovací a měřicí přístroj Zoller Smile 400	41
7	Použité nástroje při výrobě lopatkového kola	43
8	Technologický postup	47
9	Technicko – ekonomické zhodnocení	51
10	Závěr	55
	Poděkování	57
	Seznam použité literatury	58
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek	63
	Seznam příloh.....	64

Seznam zkratek

Značka	Veličina	Jednotka
PA	Polyamid	
PC	Polykarbonát	
PE	Polyetylen	
PEEK	Polyetereterketon	
PET	Polyetylentereftalát	
POM	Polyoxymetylen - Polyacetal	
PP	Polypropylen	
PTFE	Polytetrafluoretylen	
PVC	Polyvinylchlorid	
PVDF	Polyvinylidenfluorid	
C_m	Cena za 1 kg materiálu	Kč
D	Průměr nástroje	mm
E	Modul pružnosti v tahu	$N \cdot mm^{-2}$
F	Délka ostří	mm
HS	Hodinová sazba stroje	Kč
HS_z	Hodinová sazba zaměstnance	Kč
HRB	Tvrdost podle Brinella	$N \cdot mm^{-2}$
KCU	Rázová vrubová houževnatost	$kJ \cdot m^{-2}$
L	Délka dráhy nástroje	mm
N_c	Celkové náklady na výrobu jednoho kusu	Kč

N_{c1}	Celkové náklady na výrobu 1 kusu bez VBD	Kč
N_D	Náklady na VBD	Kč
N_{D1-5}	Náklady na jednotlivé VBD	Kč
N_m	Náklady na materiál	Kč
N_S	Strojní náklady na výrobu	Kč
N_z	Náklady na zaměstnance	Kč
P_c	Prodejní cena jednoho kusu	Kč
P_{c1}	Prodejní cena jednoho kusu bez VBD	Kč
Re	Mez kluzu	$N \cdot mm^{-2}$
R_m	Mez pevnosti	$N \cdot mm^{-2}$
R	Rozdíl příjmů a nákladů	Kč
R_p	Mez kluzu při	MPa
T	Teplota měknutí	$^{\circ}C$
T_{AC}	Celkový strojní čas pro výrobu	min
$T_{ACN1-12}$	Čas jednotlivých operací při výrobě	min
W_o	Modul pružnosti v ohybu	$N \cdot mm^{-2}$
a_p	Hloubka řezu	mm
a_{cU}	Rázová houževnatost	$kJ \cdot m^{-2}$
c	Měrná tepelná kapacita	$KJ/kg \cdot ^{\circ}C$
d_i	Průměr vepsané kružnice	
f_z	Posuv na zub	mm
i	Počet drah nástroje	-
l	Délka VBD	mm

n	Otáčky	min^{-1}
m	Hmotnost polotovaru	kg
r	Zaoblení břitu	mm
s	Tloušťka VBD	mm
t_k	Krátkodobá teplota při použití	$^{\circ}\text{C}$
t_m	Teplota měknutí	$^{\circ}\text{C}$
t_o	Tepelná tvarová odolnost	$^{\circ}\text{C}$
t_t	Trvalá teplota při použití	$^{\circ}\text{C}$
v_c	Řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
v_f	Posuvová rychlost	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
α	Úhel hřbetu	$^{\circ}$
ε	Prodloužení při přetrhu	%
λ	Tepelná vodivost	$\text{W}/\text{k} \cdot \text{m}$
ρ	Hustota	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
σ_o	Napětí v ohybu	$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
σ_p	Mezní napětí při prodloužení 1%	$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
γ	Součinitel tepelné roztažnosti	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
CAD	Computer aided design	
CAM	Computer aided manufacturing	
CNC	Computer numerical control	
VBD	Vyměnitelná břitová destička	

Úvod

Od zákazníků jsou stále více žádány materiály, které se vyznačují nízkou hmotností, dobrými mechanickými vlastnostmi, odolnostmi proti korozi, trvanlivější, snadněji zpracovatelné a s lepšími izolačními vlastnostmi. Z těchto důvodů volí zákazníci ve srovnání s klasickými materiály ekonomicky výhodnější plasty. Jelikož se jedná o zpracování specifického druhu materiálu o různých mechanických vlastnostech, je určení technologických podmínek při obrábění složité. Nedostatek technické literatury a informací týkajících se obrábění těchto materiálů vede k obtížnému stanovení technologických podmínek. Konkurence jednotlivých firem zabývajících se zpracováním plastů vytváří tlak, aby výroba vedla k co nejlepší kvalitě výrobků. Technologové v podnicích navrhuji nové postupy technologie výroby součástí obráběním, aby dosáhli co nejnižšího strojního času při obrábění a zároveň co nejnižších finančních nákladů i s ohledem na životní prostředí.

Tato diplomová práce řeší problematiku návrhu nové technologie výroby lopatkového kola zadanou ve společnosti Belt Plast s.r.o. Tato společnost vznikla za účelem doplnit český trh v oblasti technických materiálů na bázi organických polymerů. Společnost se zabývá výhradně technologiemi třískového obrábění plastů a to výrobou strojních součástí. Je to komplexní společnost, která je schopna řídit výrobu od počátku až po expedici výrobku k zákazníkovi.

Diplomová práce se zaměřuje především na návrh nového výrobku v prostředí společnosti a to z plastového materiálu. Výrobek je navrhnut v CAD programu Solidworks a technologie obrábění je zpracována v CAM programu Alphacam, které používá společnost Belt Plast s.r.o. Daný výrobek je ve společnosti vyroben. Dále jsou v práci navrženy nové řezné podmínky, použité nástroje pro obrábění, technologie obrábění a popis použitých strojů. Závěrem práce je zpracováno technicko - ekonomické hodnocení.

1 Plastové materiály

1.1 Historie a vývoj plastů

Již od počátků se setkáváme s přírodními polymery, jako jsou například dřevo, kůže, nebo rostlinná vlákna. Umělé polymery byly poprvé sloučeny v 19. století. V Londýně v roce 1862 byl na veřejnosti poprvé představen nitrát celulózy, který objevil Alexandr Parkers. Z tohoto nitrátu za přidání kafru, který pomohl zlepšit vlastnosti, vznikl nový produkt celuloid. Z tohoto nového plastu se vyráběly hřebeny, rukojeti, knoflíků a také ve formě folie dal základ filmovému průmyslu. Celulóza se používala i v textilním průmyslu a to jako polo přírodní polymer známý jako celofán. Nové polymerní materiály představovaly modifikované přírodní látky. První plně syntetický plast byl vynalezen v roce 1909 v Americe, vynalezl jej Leo Baekeland. Tento bakelit se vyráběl z formaldehydu a fenolu a vyznačoval se svou pevností, lehkostí, tepelnou odolností a dobrými izolačními vlastnostmi.¹

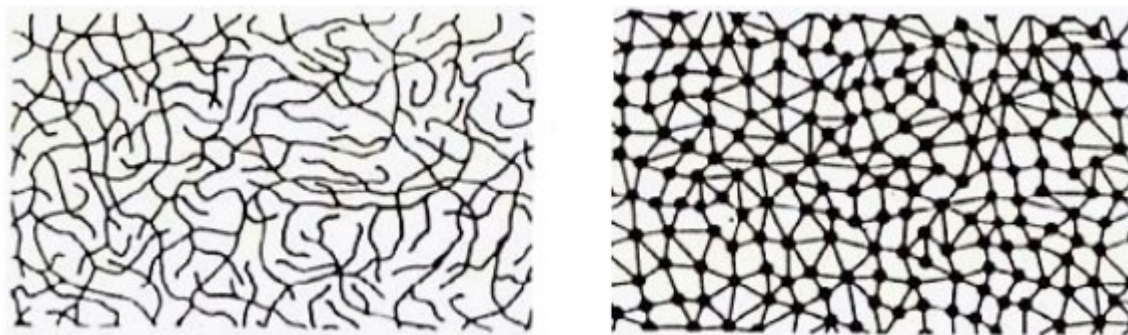
Velký rozvoj a využití plasty zažili během 2. světové války a na začátku 50. let. V dnešní době plasty nahrazují klasické materiály, jako jsou kov, dřevo, kůže, sklo, papír a přírodní pryž a to z důvodu, protože mají menší hmotnost, jsou pevnější, mají lepší izolační vlastnosti, lepší odolnost vůči korozi, jsou trvanlivější a snadněji zpracovatelné. Díky těmto vlastnostem je použití oproti tradičním materiálům ekonomicky výhodnější. Velice často je v některých případech použití plastů výhodnější i z hlediska konstrukčního a technologického. Nesmíme ale zapomínat, že v praxi mají plasty oproti kovům silnou závislost na mechanických vlastnostech tj. teplota, rychlost a doba zatěžování.¹

1.2 Základní pojmy

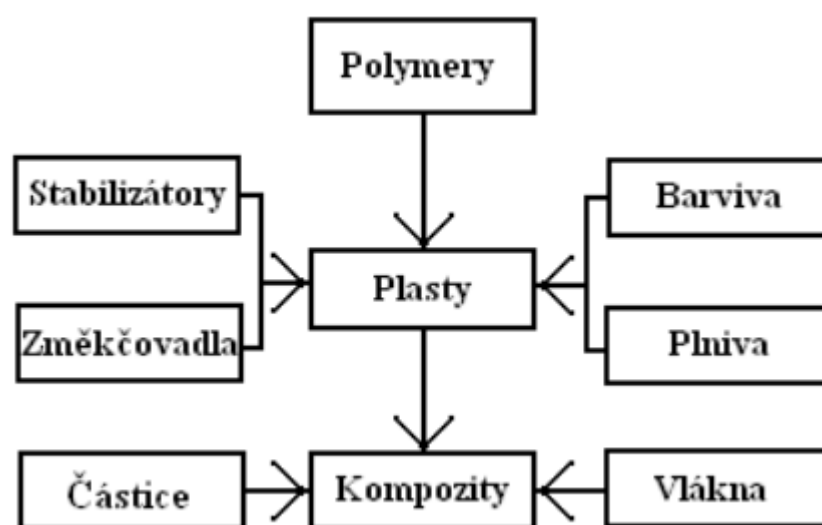
Nejdříve než se začneme zabývat jednotlivými plasty a navrhovat nový výrobek je třeba si vysvětlit základní pojmy.

Definice plastu

Plasty jsou makromolekulární látky, které jsou tvořeny přísadami typu plniv, změkčovadel, stabilizátorů, maziv, barviv atd. Plasty jsou za běžných podmínek tvrdé, někdy i křehké. Při zvýšení teploty se stávají plastickými nebo tvarovatelnými. Za předpokladu, že je změna z plastického stavu vratná mluvíme o termoplastech. Jestli, se jedná o nevratnou změnu, mluvíme o reaktoplastech. Vnitřní struktura plastu je zobrazena na obrázku 1.1.³



Obrázek 1.1- Struktura termoplastu (vlevo), struktura reaktoplastu (vpravo) ⁴



Obrázek 1.2- Polymery, plasty, kompozity ³

Definice polymeru

Polymer je chemicky čistá látka, která má jasně definovaný chemický vzorec. Základním prvkem ve struktuře polymerů je atom uhlíku C, který je schopen díky své atomové struktuře vytvořit čtyři kovalentní vazby. Jednotlivé atomy uhlíku mohou být mezi sebou vázány buď jednoduchou vazbou, nebo vazbou násobnou (dvojnou, resp. trojnou). ³

1.3 Rozdělení plastů

Plasty můžeme rozdělit dle různých hledisek.

Podle aplikace a konstrukční složitosti:

- **Plasty pro široké použití** – do této skupiny řadíme polystyrenové hmoty, polyolefiny, polyvinylchlorid, močovinoformaldehydové a fenolformaldehydové hmoty. Mezi jejich vlastnosti patří dobrá zpracovatelnost a chemická odolnost. Provozní teplota se pohybuje mezi 60 – 80 °C. ^{4,5}

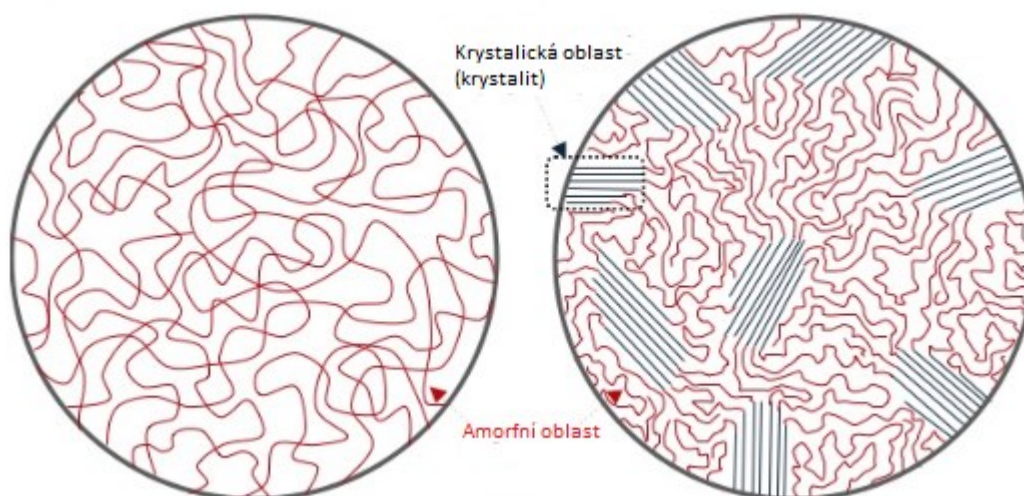
- **Plasty pro inženýrské aplikace** – patří sem polyethyleny, polykarbonáty, polyamidy, polymethylmetakrylát, polyoxymethylen, terpolymer, epoxidové a polyesterové pryskyřice. Provozní teploty těchto plastů se pohybují do 120 °C a řadíme je mezi univerzálnější plasty.^{4,5}
- **Plasty pro špičkové aplikace** – do této skupiny lze zahrnout polyimidy, polysulfon, tetra-fluorethylen a další. Tyto plasty jsou nejdražší a jejich provozní teplota dosahuje až 200 °C.^{4,5}

Podle teplotního chování:

- Termoplasty,
- reaktoplasty,
- kaučuky, pryže a elastomery.

Podle nadmolekulární struktury:

- **Amorfní plasty** – mají vysokou pevnost, modul pružnosti, tvrdost, křehkost a vzhledem k nízkému indexu lomu jsou průhledné. Do této skupiny patří polystyrénové hmoty, polykarbonáty a polymethylmetakrylát.^{5,6}
- **Krystalické plasty** – mají strukturu uspořádanou určitým způsobem a to stupněm krystalinity. Mezi jejich charakteristické vlastnosti patří houževnatost a díky rostoucímu stupni krystalinity roste pevnost a modul pružnosti. Krystalické plasty lze použít do teploty tání. Mezi tyto materiály například patří polyamidy, polyolefiny, tetrafluorethylen atd. schéma nadmolekulární struktury lze vidět na obrázku 1.3.^{5,6}



Obrázek 1.3 - Schéma nadmolekulární struktury amorfni (vlevo), krystalické (vpravo)⁶

Podle druhu přísad:

- **Neplněné plasty** - jsou takové plasty, u kterých nejsou ovlivněny vlastnosti polymerní matrice přidáním specifického množství přísad.⁵
- **Plněné plasty** – materiál plniva nám ovlivňuje mechanické i fyzikální vlastnosti. Základní fyzikální a mechanické vlastnosti nám určuje makromolekulární látka, která plní funkci pojiva.⁵

Podle polarity:

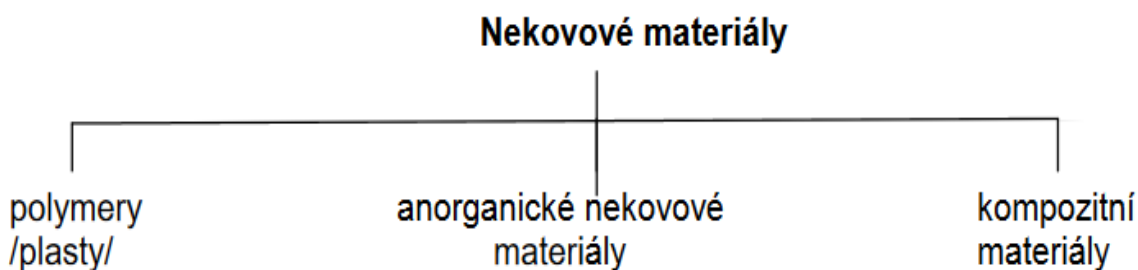
- **Polární plasty** – tyto plasty mají trvalý dipól, a řadíme mezi ně polyamidy, některé pryskyřice a další.⁵
- **Nepolární plasty** - nemají trvalý dipól a patří mezi ně polyolefiny, polystyrenové hmoty apod.⁵

Podle chemické struktury plastů:

Chemické názvy jsou odvozeny z chemických struktur jednotlivých materiálů např. polyamidy, polyolefiny, styrenové plasty a další.⁵

Podle původu:

- **Přírodní** - jsou založeny na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi celulózy, latexu atd.⁵
- **Syntetické** – jsou uměle vytvořeny chemickou cestou.



Obrázek 1.4 - Rozdělení nekovových materiálů¹⁵

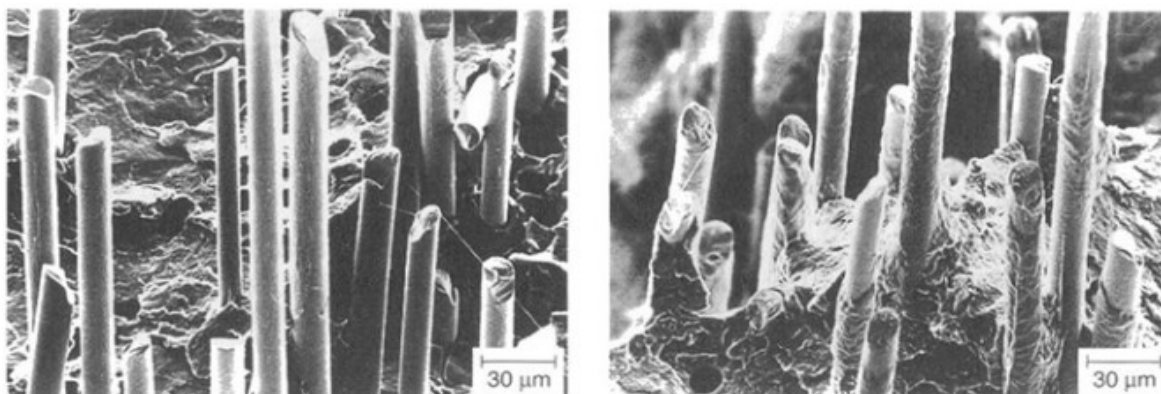
Obrázek 1.5 - Rozdělení polymerů¹⁵

1.4 Přísady

Přísady jsou vlastně aditiva, které, jsou důležitou součástí složení plastových materiálů. Díky nim získáme požadované vlastnosti plastů. Přísady nám ovlivňují chemickou strukturu daného polymeru. Zlepšují a zvyšují nám stabilitu taveniny v horké formě. Díky přísadám zlepšíme tečení taveniny a docílíme jemné a rovnoměrné krystalické struktury.⁷

Plniva

Plniva neboli kompozita nám upravují mechanické vlastnosti (modul pružnosti, houževnatost, tažnost, pevnost v tahu), konečný vzhled výrobku a vlastnosti taveniny. Plniva se vytváří ze dvou nebo více materiálů, které mají různé vlastnosti a mění tak výsledné vlastnosti polymeru. Plniva lze řadit do dalších podskupin. Na obrázku 1.6 lze vidět struktura plastu plněného skelnými vlákny.²

Obrázek 1.6 - Struktura plastu plněného skelnými vlákny⁵

- **Plniva částicová** – zařazujeme mezi ně několik minerálních plniv o rozdílných velikostech a tvarech jednotlivých částic. Díky nim se zvyšuje tvrdost a tuhost výrobku, viskozita taveniny a tepelná odolnost. Vybrané typy zlepšují kluzné vlastnosti. Další nám snižují vnitřně izolační a povrchové odpory, zvyšují také tepelnou vodivost. Mezi částicová plniva řadíme skelná a uhlíková vlákna, vápenec, perlit, živec, kaolin atd.¹³
- **Vyztužující plniva** – tyto plniva nám u materiálu zvyšují pevnost, tuhost, tvarovou stálost. Z dalších vlastností nám snižují ohebnost, tažnost, kluzné vlastnosti a smrštění. Vyztužující funkce plniva je závislá na poměru délky k průměru.¹³

Nejpoužívanějším plnivem jsou v současné době vrstvené jíly. Do skupiny plniv můžeme zařadit dvoupolymerní materiály, ze kterých každý přináší do vzniklé směsi tu ze svých lepších vlastností.^{2, 12}

Změkčovadla

Jsou to organické látky, které účelně snižují tuhost a tvrdost. U polymerů zvyšují ohebnost, tažnost, tvárnost a houževnatost. Snižují viskozitu taveniny a nejčastěji se používají u polyvinylchloridu.^{2, 12}

Maziva

Cílem maziv je ovlivnit vlastnosti polymerů a usnadnit jejich zpracování. Zlepšují některé vlastnosti součástí, jako jsou tepelná stabilita, vzhled povrchu a odolnost vůči korozi. Mezi maziva patří i nukleační činidla, které nám mění rychlost krystalizace a díky tomu dochází ke zkrácení doby výrobního cyklu.²

Barviva, pigmenty a barevné koncentrátoři

Barviva dodávají polymeru potřebný barevný odstín a jeho krytí. Pigmenty jsou organické látky, které se v daném prostředí nerozpouští a nenarušují strukturu materiálu. Barevné koncentrátoři obsahují oproti původnímu granulátu více barviv a pigmentů. Mezi požadavky zákazníků patří zdravotní nezávadnost, povětrnostní stálost, a odolnost proti ultrafialovému záření.²

Nadouvadla

Jsou to přísady, které ve výrobku vytvoří uzavřené nebo otevřené póry. Nadouvadla se používají při zpracování plastů na lehčené hmoty.¹²

Stabilizátory a retardéry hoření

Stabilizátory chrání plast před vnějšími vlivy prostředí (ozón, sluneční záření, kyslík atd.) a to už při zpracování nebo v průběhu používání. Retardéry hoření jsou chemické sloučeniny, které zpomalují hoření plastů a zaručují samozhášitelnost plastu.²

1.5 Mechanické vlastnosti plastů

Mechanické vlastnosti ovlivňuje několik faktorů a to chemické složení daného plastu, velikost a tvar makromolekul, a také množství a druh přísad. Mechanické vlastnosti se vyhodnocují za krátkodobého a dlouhodobého namáhání. Tyto vlastnosti jsou velice rozdílné a jsou silně závislé na teplotě. Jsou závislé i na rychlosti deformace a tvaru výrobku.¹⁴

Krátkodobé namáhání

Při krátkodobém namáhání se mechanické vlastnosti zjišťují pomocí trhací zkoušky. Výsledkem této zkoušky je závislost napětí na deformaci. Z této závislosti můžeme zjistit mez kluzu a pevnosti, tažnost, modul pružnosti v tahu a celkové chování materiálu při deformaci. Ze zjištěných hodnot lze odvodit namáhání v tahu a smyku.⁴

Dlouhodobé namáhání

Jedná se o závislost tří veličin a to napětí, deformace a času za předpokladu neměnné teploty. Vzájemný vztah těchto veličin lze zjistit pomocí creepové zkoušky tahem a relaxační zkoušky.⁴

1.6 Elektrické vlastnosti

Při určitých podmínkách může docházet k nárůstu elektrické vodivosti a plasty přestanou mít vlastnosti dielektrika. V elektrickém poli se plasty chovají jako izolanty. Elektrické vlastnosti hodnotíme podle měrného vnitřního odporu a elektrické pevnosti.¹²

1.7 Tepelné vlastnosti

Za působení tepla se hodnotí zejména materiálové tepelné konstanty, to jsou teplotní vodivost, délková tepelná roztažnost, měrná tepelná kapacita.¹²

1.8 Optické vlastnosti

Pro použití na strojní součásti nemají tyto vlastnosti takový velký význam jako jiné vlastnosti. Plasty, které mají dobrou propustnost viditelného světla, se používají především pro výrobu průhledných vík a těles. Používají se také pro výrobu optického vybavení.⁴

1.9 Fyzikální vlastnosti

Hořlavost

Je to vlastnost kdy dojde ke vznícení materiálu a jejich chování při hoření. Tato vlastnost závisí na chemické struktuře materiálu a na vybraných fyzikálních činitelích. Hořlavost lze snížit přidáním plniv (slídy, skleněná vlákna atd.) a speciálních přísad (retardéry hoření).¹⁴

Koroze a napětí

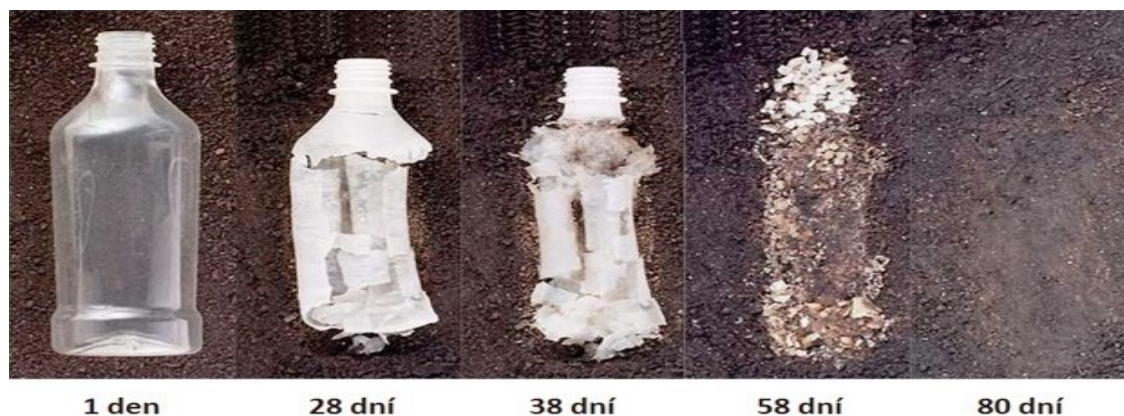
Vlivem působení mechanického napětí při působení kapalin nebo par, vznikají na povrchu trhliny. Tyto trhliny se postupně šíří až do okamžiku přetržení křehkým lomem. Koroze se vyskytuje nejčastěji u termoplastů.⁴

Navlhavost a nasákavost

Plast je schopen absorbovat vodu z prostředí, ve kterém se nachází. Jedná se tedy o vlastnosti spojené s okolním prostředím. Jestliže, se materiál nachází ve vlhkém ovzduší, jedná se o navlhavost. Pokud se nachází ve vodě, jde o nasákavost. V případě, že plastový výrobek vstřebává vodu, mění se jeho rozměry, snižuje se pevnost a tvrdost, modul pružnosti, zvyšuje se tažnost a houževnatost. K navlhavosti a nasákavosti je náchylný polyamid.⁴

Stárnutí

Je to postupné znehodnocování plastů za působení mnoha činitelů v přirozeném nebo umělém prostředí (přirozené stárnutí, umělé stárnutí). Když je plast vystaven povětrnostním podmínkám nazýváme jej povětrnostní stárnutí, jestliže je vystaveno světlu nazýváme ho světelným stárnutím, pokud je vystaveno teplotě je to tepelné stárnutí a když je vystaveno ozonu jde o ozonové stárnutí. Stárnutí se projevuje tak, že ztrácí tažnost, rázovou a vrubovou houževnatost. Na obrázku 1.7 lze vidět příklad stárnutí.¹²



Obrázek 1.7 - Příklad stárnutí polymerů při zvýšené teplotě a vlhkosti prostředí¹⁶

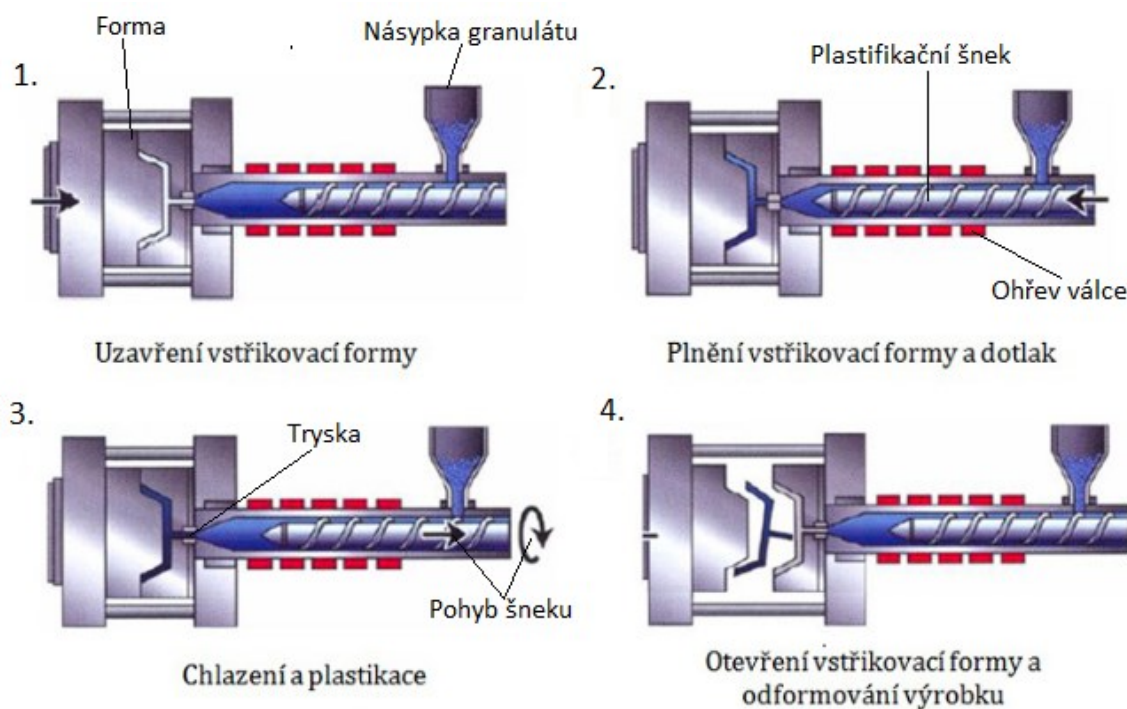
2 Technologie zpracování plastů

2.1 Vstřikování

Je to nejpoužívanější a nejrozsáhlejší technologie pro zpracování plastů. Při vstřikování dosahujeme vysoké tvarové a rozměrové přesnosti. Pomocí této technologie se nejčastěji zpracovává většina druhů termoplastů a v některých případech i reaktoplasty a kaučuky. Výsledkem této technologie jsou buď konečné výrobky, polotovary nebo díly pro následující zpracování.^{5, 12}

Vstřikování probíhá tak, že dávka plastu v podobě granulí se roztaví v tavicí komoře a je vstříknuta jako tavenina za vysoké rychlosti do dutiny formy. Po ukončení vstříknutí a vyplnění dutiny formy za působení ochlazování plast ztuhne, forma se otevře a výrobek se pomocí vyhazovacího zařízení vyjme.^{5, 12}

Výhodou vstřikovacího procesu je ekonomicky umožňovat automatizovanou produkci složitých, vyhovujících svou přesností a kvalitní povrchovou úpravou výrobků v krátkém časovém intervalu. Mezi nevýhody vstřikování řadíme velké investiční náklady, dlouhá doba nutná pro výrobu forem, nutné využití strojního zařízení neúměrně velkého při porovnávání s požadovaným výrobkem. Na obrázku 2.1 je znázorněna technologie vstřikování.^{5, 12}



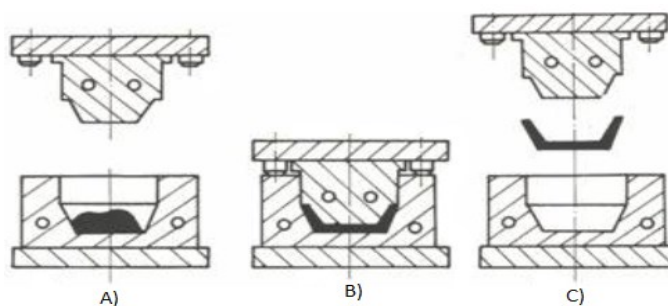
Obrázek 2.1 - Princip vstřikování plastů⁸

2.2 Lisování a přetlačování

Tyto technologie byly jedněmi z prvních technologií zpracování plastů. Nejčastěji jsou používány pro reaktoplasty a v současné době jsou nahrazeny vstřikováním.⁵

Lisování

Cyklus probíhá ve vytápěné ocelové formě, kde se do její dutiny vloží lisovaná hmota (v podobě prášku nebo tablet). Za působení tepla a tlaku je hmota roztavena a tvářena do požadovaného tvaru výlisku. Lisovací tlak nejvíce ovlivňuje kvalitu povrchu výlisku a jeho smrštění. Po skončení lisování se hmota vytvrdí, forma se otevře a výlisek se vyhodí pomocí mechanických vyhazovačů. Lisováním se vyrábí desky z polyetylenu. Na obrázku 2.2 lze vidět princip lisování.^{5, 17}

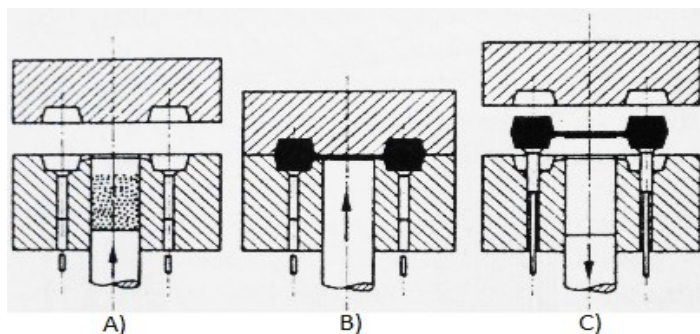


Obrázek 2.2 - Princip lisování plastů⁵

A) Vložení plastu do formy, B) Lisování a vytvrzování, C) Vyhození výlisku z formy

Přetlačování

Přetlačovaná hmota se vloží do pomocné tlakové komory, která je součástí přetlačovací formy, kde je zahřata do plastického stavu. Odtud je hmota přetlačena vtokovými kanálky pomocí pístů do vyhřívané formy. Zde získá finální tvar výrobku. Výhodou této technologie je výroba kvalitních stejnorodých výlisků s rozměrovou přesností a možnost výroby různě složitých součástí. Na obrázku 2.3 je zobrazen princip přetlačování.^{5, 17}



Obrázek 2.3 - Princip přetlačování plast¹⁸

A) Plnění přetlačovací komory, B) Přetlačování, C) Vyhození výlisku z formy

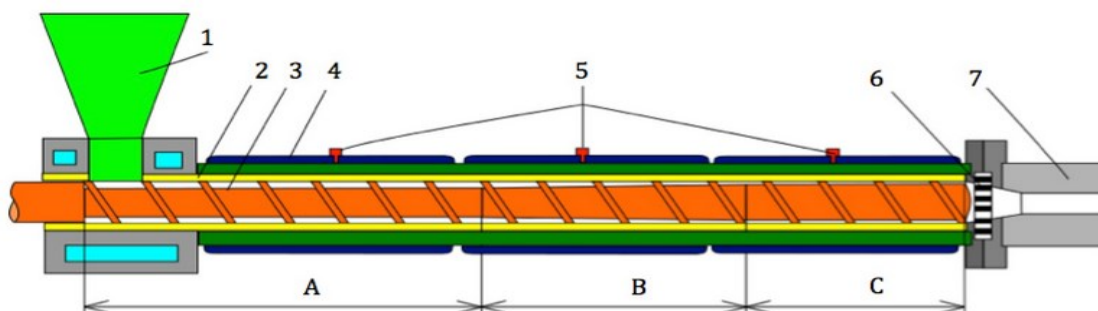
2.3 Vytlačování

Pomocí vytlačování neboli extruze, lze vyrábět široký sortiment polotovarů. Nejčastěji se vytlačují různé typy desek, profily, dráty, trubky s konstantním průřezem, tyče plné nebo duté, profily tvaru L, U i vícekomorové např. okenní. Na obrázku 2.4 lze vidět princip výrobků pro technologii vytlačování.⁵



Obrázek 2.4 - Příklady výrobků pro technologii vytlačování²³

Vlastní technologie se provádí na vytlačovacích strojích, ty můžeme mít jednošnekové nebo dvoušnekové. Pro každý plast má šnek jiné specifikace, ale kvůli jednoduchosti se používá několik ověřených variant šneků. Při tomto procesu se tavenina vytlačuje vyhřívanou hlavou neboli nástrojem do volného prostoru. Potřebný tvářecí tlak nám zajistí otáčení šneku ve vytlačovacím stroji. Na obrázku 2.5 je vidět schéma vytlačovacího stroje.^{5, 17}



Obrázek 2.5 - Schéma vytlačovacího stroje¹⁹

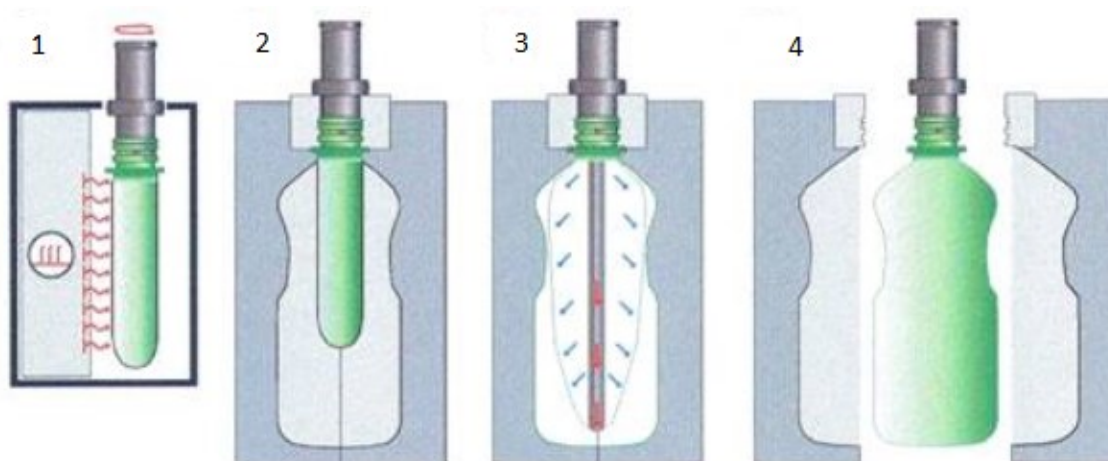
A – Plnicí zóna, B – Plasticační zóna, C – Vytlačovací zóna, 1 – Násypka,
2 – Válec, 3 – Šnek, 4 – Elektrické odporové topení, 5 – Termočlánky k měření teploty
v jednotlivých zónách, 6 – Lamač, 7 – Vytlačovací hlava

Vytlačovat lze na strojích třemi základními způsoby:

- Vytlačování trubek a profilů,
- výroba fólií a desek vytlačováním,
- speciální způsoby vytlačování.

2.4 Vyfukování

Je proces výroby, kdy ve vyfukovací formě dochází k tvarování polotovaru za působení teploty a přetlaku vzduchu. Technologie výroby se od ostatních technologií liší tím, že se materiál zahřívá do stavu, kdy je tvarovatelný, ale neztrácí svoji soudržnost. Pomocí technologie vyfukování lze vyrábět dutá tělesa jako např. láhve. Při procesu se plast nastříkne na vhodně upravený dutý trn, který se nachází ve vstřikovací formě. Okamžitě poté je přesunut do vyfukovací formy, kde se materiál za plastického stavu vyfoukne vzduchem z trnu a vytvaruje se podle tvaru formy. Největší výhodou tohoto technologického procesu spočívá v tom, že nevzniká žádný odpad. Je zaručen dobrý vzhled a tuhost. Na dně výrobku se díky dělicí hraně formy vytvoří přechod materiálu. Největší nevýhoda technologie je komplexnost zařízení. Metody vyfukování máme vstřikovací, vytlačovací a vyfukování s dloužením. Na obrázku 2.6 lze vidět princip vyfukování.^{9, 19}



Obrázek 2.6 - Princip vstřikovacího vyfukování s přerušovaným procesem⁹

1 – ohřev předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení
a vyhození

2.5 Tvarování

Tvarování je technologie, u které se mění tvar polotovaru např. desky, bez většího přemísťování částic hmoty. Na rozdíl od tváření je omezen stavem materiálu, při materiálové změně. Většinou probíhá za teploty, kdy má hmota dostatečnou tvarovatelnost. Tvarování lze provádět i za pokojové teploty, ale jen u výrobků jednoduchých tvarů a bez vysokých požadavků na rozměrovou stálost. Tato technologie výroby se nejvíce využívá v potravinářském průmyslu, obalové technice, k výrobě kufrů, skříní chladniček atd. Velice často se ve tvarovací formě nachází více výrobků, což zvyšuje produktivitu práce. Další výhodou jsou jednoduché a levné formy, krátký

výrobní čas a velkoplošné výrobky s tenkou stěnou. Nevýhodou může být nestejnoměrná tloušťka stěn, velké procento odpadu až 80 % a malá tvarová přesnost. Na obrázku 2.7 jsou vidět výrobky vyrobeny tvarováním.^{5, 17}

Podle použitých tvarovacích prostředků rozeznáváme tvarování:

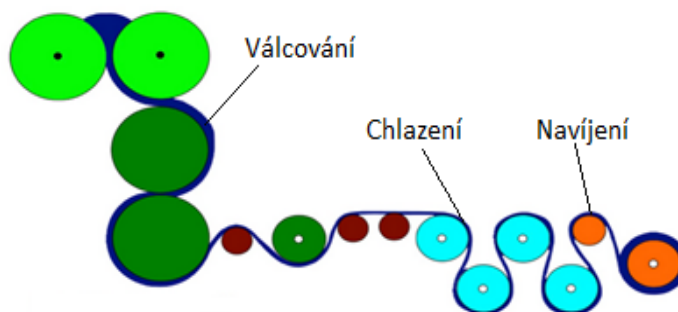
- **Mechanické a pneumatické**
- **Přetlakové** – dále dělíme na pozitivní a negativní.
- **Podtlakové** – dále dělíme na pozitivní (tvarování na tvárník), negativní (tvarování do dutiny), kombinované.



Obrázek 2.7 - Příklad výrobků zhotovených tvarováním²⁰

2.6 Válcování

Válcování nebo můžeme taky nazývat kalandrování je technologická metoda určená pro výrobu nekonečných pásů folií, podlahových krytin a koženek. Válcováním můžeme zpracovávat některé termoplasty. Výroba začíná mísením a homogenizací materiálu s přísadami ve vytlačovacím šnekovém nebo hnětacím stroji. Tato směs je přivedena mezi dva vyhřívané válce a dále pokračuje na kalandrovací linku, kde je ze směsi vyrobena fólie nebo deska. Válce mají různé obvodové rychlosti a rozdílné mezery mezi jednotlivými dvojicemi válců, tyto faktory ovlivňují intenzitu válcování. Válce rotují proti sobě s nepatrným skluzem, což nám zajišťuje kvalitu povrchu a rovnoměrnost tloušťky. Na obrázku 2.8 lze vidět schéma technologie válcování.^{5, 19}



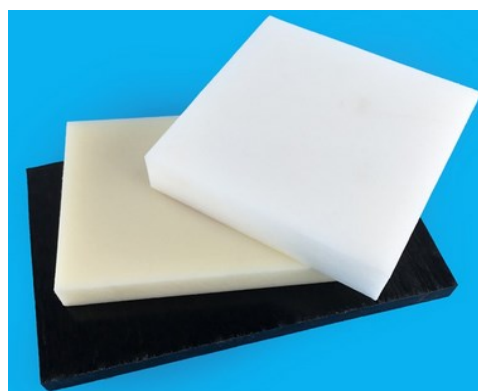
Obrázek 2.8 - Schéma válcovací linky¹⁹

2.7 Odlévání

Je to technologie, která spočívá v převedení plastu pevného do kapalného stavu a v tomto stavu následně vyplní formu. Po vyplnění formy se materiál nechá vytvrdit a vychladit, poté je odlitek vyjmut z formy. Pomocí této metody můžeme zpracovat termoplasty (polyamidy), reaktoplasty (epoxidové nebo polyesterové pryskyřice) a do určité míry i latexy. Z hlediska produktivity je tato technologie využívána pro malosériovou nebo kusovou výrobu. Výhodou této metody je výroba dílů různých rozměrů najednou bez vnitřních pnutí a s minimálním odpadem. Na obrázku 2.7 lze vidět příklad rotačního lití a příklad polotovarů vyrobených statickým litím.^{5, 19}

Podle způsobu vyvinutí síly pro zatečení do formy se odlévání dělí:

- **Statické** – forma je v klidu působí pouze gravitace.
- **Rotační** – forma rotuje kolem jedné nebo dvou os, kdy je odstředivá síla menší než gravitační.
- **Odstředivé** – forma se otáčí kolem jedné osy několik set otáček za minutu a odstředivá síla je větší než gravitační.



Obrázek 2.9 – Příklad rotačního lití (vlevo)²¹, příklad polotovarů statického lití (vpravo)¹⁹

2.8 3D tisk

Tato technologie zpracování plastů nám slouží k vytvoření fyzického modelu, který vznikne z digitální předlohy. Pomocí 3D tisku se vytváří prototypy a funkční vzorky výrobků. Princip 3D tisku je takový, že je do tiskové hlavy zaváděn pod tlakem tiskový materiál. Pro tisk jsou používány termoplasty. Tisková hlava termoplast roztaví a vytlačuje ho tenkou tryskou do prostoru tiskového stolu. Celá soustava se pohybuje a vytlačuje materiál po jednotlivých vrstvách a vytváří fyzický model z naší zvolené digitální předlohy. Jedná se tedy o opačný postup, jako u třískového obrábění kdy nám z celého bloku po ukončení obrábění zůstane požadovaný tvar. 3D tisk se používá ve výrobě,

kde se nevyplatí vyrábět formy. Mezi jeho výhody patří výroba geometricky složitých tvarů, vysoká přesnost, nízké náklady oproti jiným technologiím, minimální odpad a využití široké škály termoplastů. Používá se pro výrobu různých předmětů ať už z oblasti architektury, strojího průmyslu, potravinářského průmyslu, elektrotechnice, vzduchotechnice, zdravotnictví, umění, lze uplatnit při výrobě hraček atd. Na obrázku 2.10 lze vidět výrobky zhotovené 3D tiskem.



Obrázek 2.10 - Příklad výrobků zhotovené 3D tiskem

2.9 Třískové obrábění

Zpracování plastů obráběním se ve výrobě používá minimálně. Obrábění plastů se využívá v případě, že máme malé množství výrobků. V některých případech je to z hlediska použitého materiálu nebo konstrukce dílu jediná možná použitelná technologie a ušetří se tím náklady na výrobu forem. Technologii obrábění lze uplatnit při výrobě dílů nebo součástí, sloužících jako prototypy k ověření vhodnosti plastu před zavedením do hromadné výroby s využitím jiné technologie zpracování plastů. Další oblastí kde využít obrábění plastů je výroba náhradních dílů, které jsou potřeba při náhlých haváriích zařízení. Docela často je obrábění použito při výrobě náhradních dílů do zahraničních strojů, které jsou většinou časově nedostupné. Největší uplatnění obrábění je však při výrobě dílů pro unikátní výrobní zařízení a stroje, kde plast představuje originální řešení ať už z hlediska technického nebo ekonomického. Způsoby obrábění plastů se v podstatě odlišují velikostí řezných sil, které jsou řádově menší než při obrábění kovů. V jednotlivých podrobnostech jsou však odlišnosti, které zohledňují vlastnosti materiálu. V porovnání s kovy jde o vlastnosti kde je nižší pevnost, větší pružnost, nižší tvrdost, vyšší tepelná vodivost a roztažnost, nízká tepelná odolnost, schopnost bobtnat a možnost plnění rozmanitými materiály.¹¹

Mechanickým obráběním se rozumí pochod, při kterém se vytváří požadovaný tvar obrobku o předepsaných rozměrech a požadovaných jakostích obrobených ploch. Vzhledem k předchozím vlastnostem musíme neustále hlídat určité faktory a to zejména zda je nástroj kvalitně naostřen pro dosažení dobré kvality povrchu. Nástroj by se neměl používat pro obrábění jiných materiálů kromě plastů. Dále je třeba sledovat zahřívání nástroje, zahřívání materiálu a změnu tvaru. Aby bylo zajištěno nízké opotřebení nástroje, jsou nástroje nejčastěji vyrobeny z rychlořezných ocelí a slinutých karbidů. Před obráběním je důležité volit správné upínací přípravky, protože plasty mají nižší pevnost, aby síla, kterou se obrábí, nezpůsobila destrukci v místě upevnění. Při chlazení je třeba volit takové médium, které s hmotou nereaguje a nezpůsobuje bobtnání a ani ji nijak nepoškozuje. Nejčastějším chladicím médiem bývá vzduch o teplotě -10 až $+15$ °C. Důležité je sledovat obrobený povrch, abychom okamžitě zjistili chyby při obrábění a změnili řezné podmínky. Vlivem menších řezných sil vzniká při obrábění relativně málo tepla. Tepelná vodivost polymerů je na rozdíl od kovů velmi malá a proto i teplo vznikající v místě řezu je odebíráno třískou podstatně méně. Následkem toho může teplota v místě řezu dosáhnout až 600 °C a teplota nástroje může dosáhnout až 150 °C. Tříska se při takovéto teplotě může začít připékat na nástroj a tím může dojít k poškození obráběné plochy. Při obrábění plastových materiálů se pod vlivem teplot mohou uvolňovat drobné částice i plynné rozkladné produkty, což vyžaduje výkonné odsávací zařízení.^{10,11}

V praxi aplikujeme obráběné díly v různých průmyslových odvětvích. Používají se v potravinářském průmyslu pro různá kluzná a tvarově konfigurovaná vedení řetězů, pro výrobu šneků s různým stoupáním šroubovice. Kluzných vlastností je využito k výrobě speciálních nebo netypických ložisek např. segmentová axiální a radiální ložiska turbín jak malých vodních elektráren, tak velké Kaplanovy turbíny. Zvláštním odvětvím jsou otěruvzdorné a nelepivé výstelky násypek, žlabů a zásobníků pro hnědé uhlí nebo jiné abrazivní sypké materiály. Požívají se i ve všeobecném strojírenství jako ozubená kola, vačky, kladky. Tento výčet nelze považovat za zcela vyčerpávající, protože nových aplikací obráběných součástí stále přibývá.¹¹

Při třískovém obrábění plastových materiálů je třeba dodržovat tyto zásady:

- Nástroje musí být dokonale ostré, a pravidelně kontrolovat jejich ostrost.
- Musí mít úhly naostřené tak aby docházelo k lehkému, rychlému a dokonalému odstranění odpadajících třísek.

- Řezné podmínky pro obrábění volíme dle obráběného materiálu, z důvodu rozdílných vlastností plastů.
- Při obrábění je třeba chladit takovým médiem, které nepůsobí negativně na obráběný materiál např. olejová mlha stlačený vzduch apod.
- Obráběný materiál je pružný, proto jsou vyžadovány speciální tvary nástrojů pro obrábění a speciální přípravky pro upnutí.
- Nástroje musí mít takový tvar, aby se obráběné plochy dotýkaly jen řeznou plochou.
- Při obrábění průsvitných materiálů jsou vysoké nároky na kvalitu obrábění, proto pro zachování průhlednosti používáme leštidla.
- Při obrábění hořlavých látek je důležité, aby se nevytvořili podmínky pro zapálení nebo výbuch pilin a třísek.

Mezi základní technologie třískového obrábění plastů řadíme soustružení, frézování, vrtání, broušení a řezání. Postupy u těchto technologií jsou identické jako při obrábění kovů. Obráběcí nástroje se často odlišují provedením a hlavně geometrií řezných úhlů. Tyto parametry se hlavně vztahují na typ obráběného materiálu.²²

Soustružení

Při soustružení nám vzniká dlouhá tříska a je nutno ji vhodným způsobem při práci odstraňovat z místa řezu, aby se tříska nezamotala do upínací hlavy, nástroje nebo obrobku. Na obrázku 2.11 lze vidět příklad soustružení plastů.²²

Frézování

Při frézování lze používat frézy pro lehké kovy. Kotoučové frézy považujeme za vhodnější, neboť lépe odstraňují třísky z místa řezu. Na obrázku 2.11 lze vidět příklad frézování plastů.²²

Vrtání

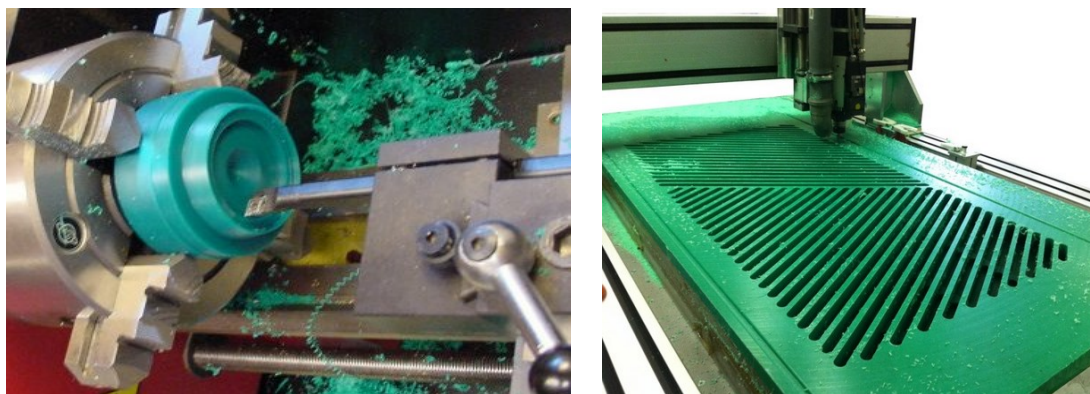
Při vrtání jsou naprosto vyhovující vysokorychlostní šroubové vrtáky. Kvůli produktivitě velkého množství tepla je třeba použít chladicí medium. Pro lepší odvádění tepla a odvádění třísek, je potřeba vrták často vytahovat z otvoru a to zejména při vrtání hlubokých děr. Při vrtání otvorů velkých průměrů je třeba použít vrták se ztenčeným dřikem, aby se snížilo tření a následně i tvorba tepla. Při vrtání velkých otvorů je doporučeno otvory předvrtat. Na obrázku 2.12 lze vidět příklad vrtání plastů.²²

Vystružování

Při vystružování používáme výstružníky s přímými nebo šroubovitými drážkami. Výstružník musí být velmi dobře naostřen kvůli špatnému odstraňování třísek a pružnosti termoplastů.²²

Řezání

Pro řezání termoplastů lze použít pásové kotoučové nebo přímočaré pily se zuby dostatečně vzdáleny od sebe aby bylo zajištěno dobré odstraňování pilin. Zuby by měly mít dostatečný rozvod, aby nedocházelo ke svírání materiálu za řeznou plochou a v případě potřeby navíc použít rozpínací klíny. K řezání materiálů s příměsí skelných vláken používejte vždy velmi ostré pilové listy / kotouče s dobrým rozvodem zubů. Na obrázku 2.12 lze vidět pilový kotouč pro řezání plastu.²²



Obrázek 2.11 - Soustružení plastu (vlevo)²², frézování plastu (vpravo)²³



Obrázek 2.12 - Vrtání plastu (vlevo)²², pilový kotouč pro řezání plastu (vpravo)²²

3 Používané plastové materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o.

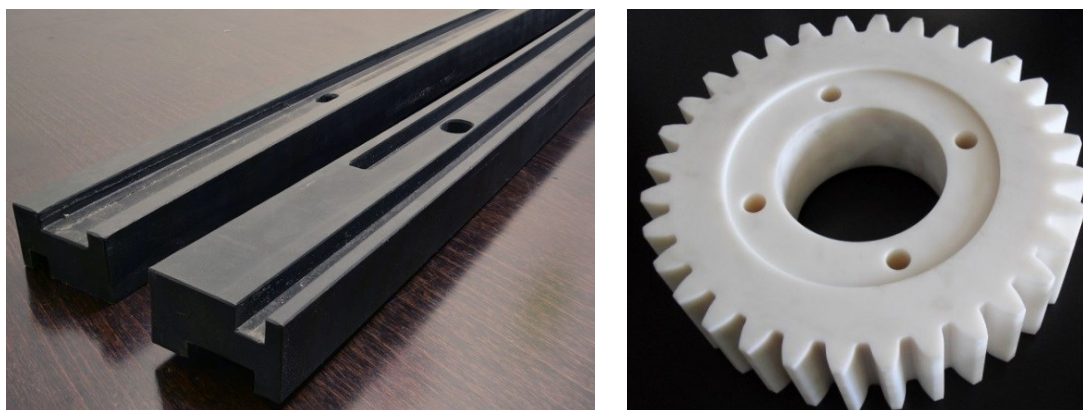
Společnost Belt Plast s.r.o. byla založena v roce 1994. Cílem společnosti bylo doplnit český trh výrobky, které nemají na našem trhu obdoby. Myšlenkou bylo inspirovat se ze zahraničního trhu a zanalyzovat situaci vyráběného sortimentu v zahraničí. Po určitou dobu pečlivého studia správného výběru materiálu a jeho správnou kombinací prvků zahájila společnost v roce 1995 výrobu strojních součástí technologiemi třískového obrábění plastu. Od uvedené doby až do současnosti společnost provedla inovační kroky a zdokonalila své schopnosti v třískovém obrábění a upevňování dodávaných hmot. Společnost používá syntetické polymery.²⁴

3.1 Polyamid (PA)

Polyamid je používán pro širokou škálu průmyslových komponentů při výrobě základních zařízení a při jejich údržbě. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří vysoká mechanická pevnost, tvrdost, tuhost a houževnatost, vysoká mez únavy, vysoká, mechanická tlumící schopnost, výborné kluzné vlastnosti, špičková odolnost proti otěru a schopnost pracovat pod vysokým zatížením. Konkrétní polyamidy jsou uvedeny v tabulce 3.1. Příklady výrobků jsou uvedeny na obrázku 3.1.²⁴

Tabulka 3.1 - Používané PA materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PA 6
Tento typ materiálu nabízí optimální kombinaci mechanické pevnosti, tuhosti, houževnatosti, mechanické tlumící schopnosti a odolnosti proti opotřebení. Tyto vlastnosti spolu s dobrou elektrickou a izolační schopností a také dobrou chemickou odolností předurčují materiál jako univerzálně použitelný, jak v oblasti konstrukce, tak i v oblasti údržby. Tento materiál je určen pro výrobu řetězových kol, kluzná ložiska, kladky pro podmínky nižších rychlostí a zátěží. Může se používat bez použití maziva, ale pro dosažení optimálních podmínek za provozu se doporučuje jeho částečné mazání oleji nebo parafinickými mazadly. Není vhodný pro aplikace s výskytem abrazivních částic. Podobný typ polyamidu má značení PA 6G vlastnostmi je stejný jako PA 6 liší se pouze v technologii výroby. ²⁴
PA 66
Tento materiál má vyšší mechanickou pevnost, tuhost, tepelnou odolnost a odolnost proti opotřebení a oproti PA 6 má lepší odolnost proti tečení. Oproti tomu je jeho pevnost v rázu a mechanická tlumící schopnost snížena. Hodí se pro obrábění na soustružnické automaty. Vyznačuje se vyšším stupněm krystalinity a tloušťky krystalových lamel a s tím související tvrdostí a vyšší teplotou tání. ²⁴
PA 12
Tento typ polyamidu má minimální nasákavost a maximální rozměrovou stálost mezi polyamidy, vysoké rázové pevnosti při nízkých teplotách a je dobře obrobitelný. Používá se pro bezúdržbové díly nebo části vystavené rázům. Je také velmi vhodný do prostředí, v němž jsou požadovány vlastnosti tlumící hluk a vibraci např.: těsnící a tlumící prvky nebo rychlospojky pro palivová vedení, v komponentách pro čerpadla. ²⁴

Obrázek 3.1 - Příklad výrobků z PA materiálu²²

3.2 Polyoxymetylen (POM)

Polyoxymetylen se velice dobře obrábí a to zejména na soustruzích a hodí se pro výrobu přesných mechanických součástí. Za nejdůležitější vlastnosti považujeme 100% omyvatelnost v potravinářském provozu, jak vodou, tak i chemickými prostředky fyziologicky netečný (vhodný pro styk s potravinami), vysoká rázová houževnatost i při nízkých teplotách, velmi dobrá rozměrová stálost (nenásákavý), vysoká mechanická pevnost, tuhost a tvrdost, dobrá odolnost proti tečení, vynikající obrobiteľnosť, dobré kluzné vlastnosti, vynikající pružnosť a není samozhášivý. Konkrétní polyoxymetyleny jsou uvedeny v tabulce 3.2. Příklady výrobků jsou uvedeny na obrázku 3.2.^{22, 24}

Tabulka 3.2 - Používané POM materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o.

POM – C
Vyrábí se v základní bílé a černé barvě. Díky svým vlastnostem a hygienickou nezávadností nachází použití při výrobě strojních součástí v potravinářském průmyslu - ozubená kola, ložiska, přesné strojní součásti pro přímý styk s vodou. ²⁴
POM – H
Materiál má vyšší mechanickou pevnost, tuhost, tvrdost a odolnost proti tečení. Vyznačuje se nižší tepelnou roztažností a má i lepší odolnost proti otěru než u POM – C. ²⁴

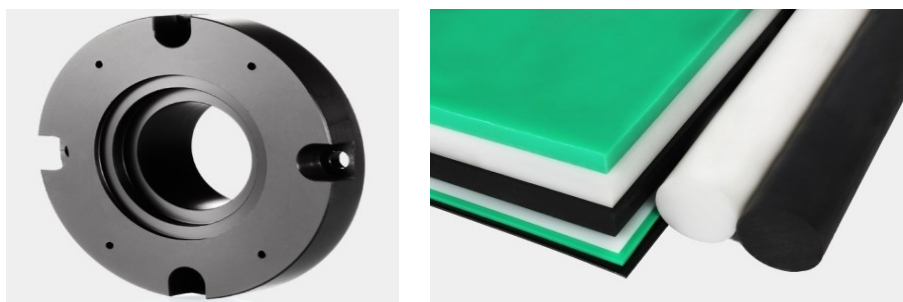
Obrázek 3.2 - Příklad výrobků z POM materiálu²²

3.3 Polyetylen (PE)

Skupina materiálů z polyetylenů představuje materiály, jejichž struktura je tvořena uhlovodíkovými řetězci s velkou ohebností kloubů (vazeb) a vysokým stupněm segmentálního pohybu. Výsledkem takové makromolekulární struktury je poměrně nízká tuhost materiálů, ale na druhé straně vysoká houževnatost a míra práce, kterou je nutno vynaložit na šíření trhliny. Míra těchto vlastností závisí na délce polymerního řetězce (polymerním stupni, molekulární hmotnosti). Společnou vlastností všech materiálů z polyetylenů je jejich vysoká chemická odolnost vůči silným i slabým kyselinám, elektrolytům a polárním organickým rozpouštědlům, nízká hustota a hygienická nezávadnost. Typy polyetylenových materiálů s ultravysokým polymeračním stupněm se v důsledku vzniku tzv. zapleteninových sítí v nadmolekulární struktuře vyznačují velmi vysokou lomovou houževnatostí, odolností vůči toku za studena (creepu) a opotřebením. Pro tyto své vlastnosti jsou vyhledávanými materiály ve strojírenské praxi. Konkrétní polyamidy jsou uvedeny v tabulce 3.3. Příklady výrobků jsou uvedeny na obrázku 3.3.²⁴

Tabulka 3.3 - Používané PE materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PE 300
Je to materiál, který je citlivý na UV záření odolává nízkým teplotám, a proto se, používá jako izolační materiál, pro obložení nádrží agresivních kapalin a odpadů, je součástí armatur a těsnění. Tento materiál je snadno zápalný a hořlavý, avšak zdravotně nezávadný ²⁴
PE 500
Materiál má molekulovou hmotností 500 g/mol je určen pro podobné aplikace jako PE 300. Používá se v případech kdy je třeba vyšší životnost nebo tam kde je možnost křejžů u staticky namáhaných součástí. Je schopen tlumit mechanické rázy s odolností proti otěru a oděru. Používá se zejména v potravinářství jako vysekávací podložky, desky a špalky pro zpracování masa. ²⁴
PE 1000
Tento druh polyetylenů má vysokou molekulovou hmotnost a to 5 000 000 g/mol, je vyhledáván především pro své samomazací vlastnosti, je vhodný pro kluzná vedení řetězů, řetězová kola, kluzná ložiska a další komponenty pracující v korozivním a prašném prostředí jako jsou kluzná vedení pásů, obložení zásobníků, přesypů a skluzů. Aplikuje se v případech kdy, je požadována odolnost vůči cyklickému namáhání vysokých frekvencí např. součástí textilních strojů. ²⁴

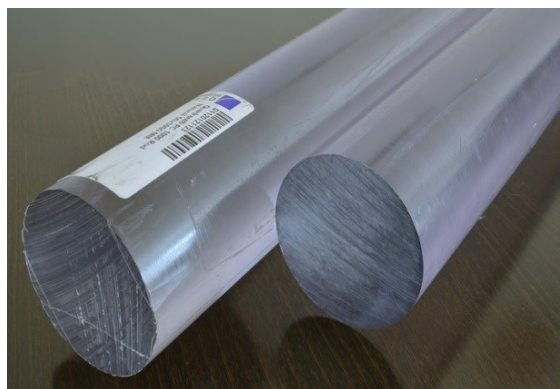


Obrázek 3.3 - Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PE materiálu²²

3.4 Polykarbonát (PC)

Tabulka 3.4 - Používaný PC materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PC 1000
<p>Velmi vysoká houževnatost umožňuje použití při velmi nízkých teplotách a v aplikacích, kde při zatížení vrubu může dojít k selhání strojní součásti. Je to materiál s "neoptickou" průmyslovou kvalitou to je, že průsvitnost není tak stejně čirá jako u skla. Tento materiál je jediný magneticky neutrální plast. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří vysoká pevnost v rázu, fyziologicky netečný (vhodný pro styk s potravinami), stálá tuhost v širokém rozmezí teplot, velmi dobrá rozměrová stabilita, vysoká mechanická pevnost a dobrá odolnost proti tečení.²⁴ Příklady výrobků a polotovarů jsou uvedeny na obrázku 3.4.</p>

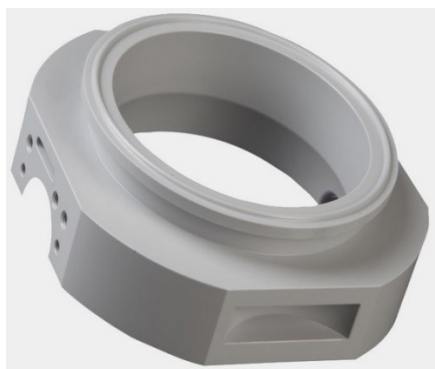


Obrázek 3.4 – Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PC materiálu²²

3.5 Polyetylentereftalát (PET)

Tabulka 3.5 - Používaný PET materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PET
<p>Polotovary, jsou vyráběny z krystalického termoplastického polyesteru. Tento materiál má velmi nízkou schopnost vázat vodu. Vyznačuje se nižší lomovou houževnatostí a jako ložiskový materiál snáší vyšší zátěže a rychlosti při nižší míře adhezivního opotřebení. Používá se pro rozměrově stálé části pro přesné mechanismy: pouzdra, kluzné dráhy, ozubená kola, válce, součásti čerpadel, pouzdra, podložky, vodící zařízení, součástí v potravinářství a balicích linkách a při výrobě izolačních elektrotechnických komponentech.²⁴ Příklady výrobků a polotovarů jsou uvedeny na obrázku 3.5.</p>



Obrázek 3.5 – Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PET materiálu²²

3.6 Polyvinylchlorid (PVC)

Tabulka 3.6 - Používaný PVC materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PVC
<p>Polyvinylchlorid je nejstarší, nejrozšířenější a třetí nejčastěji používaný termoplast na zemi. Má dobré mechanické vlastnosti, výbornou chemickou odolnost proti kyselinám i zásadám, má dobré dielektrické vlastnosti, je samozhášitelný a nenasákavá vodu. Je velmi dobře svařitelný, lepitelný a tepelně tvarovatelný (120 – 140 °C). Teplotní stabilita tohoto materiálu je do 60 °C přičemž se mění jeho vlastnosti v závislosti na teplotě. Používá se pro výrobu nádrží, obkladů nádrží, žlabů a potrubí pro chemický průmysl.²⁴ Příklady výrobků a polotovarů jsou uvedeny na obrázku 3.6.</p>



Obrázek 3.6 – Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PVC materiálu²²

3.7 Polypropylen (PP)

Tabulka 3.7 - Používaný PP materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PP
<p>Polypropylen je částečně krystalický a jeho hustota je velice nižší než u ostatních plastů. Patří do skupiny tzv. nepolárních materiálů, kde jejich povrch nebobtná a není rozpustný. Materiál je dobře svařitelný, avšak lepení je velmi obtížné. PP má vynikající chemickou odolnost, vysokou teplotní zatížitelnost, odolnost proti stárnutí, odolává kyselinám, zásadám a slabým rozpouštědlům. Má dobrou povrchovou tvrdost a dostatečnou pružnost při nízkých teplotách. Z polypropylenu se vyrábí armatury, potrubní systémy, jímky, nádrže, bazény.²⁴ Příklady výrobků a polotovarů jsou uvedeny na obrázku 3.7.</p>



Obrázek 3.7 – Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PP materiálu

3.8 Polytetrafluoretylen (PTFE)

Tabulka 3.8 - Používaný PTFE materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PTFE
<p>Polytetrafluoretylen jinak známý jako teflon je velice používaný plast s velmi vysokou teplotní odolností, vysokou odolností proti stárnutí a velice nízkým součinitelem tření. Má schopnost pracovat v širokém rozpětí teplot (-200 °C až +260 °C). Má vysokou odolnost proti stárnutí. Materiál je ořezuvzdorný, má malou hořlavost a vynikající dielektrické vlastnosti. Vyznačuje se vysokou molekulovou hmotností, obsahuje pouze atomy uhlíku a fluoru s vysokou pevností vazby. PTFE je stabilní při teplotách -160 °C až +250 °C. Má vynikající chemickou odolnost, těsnicí a kluzné vlastnosti. Materiál se vyznačuje i nulovou nasákavostí vody. Používá se pro těsnění, ucpávky, potrubí pro chemický průmysl, speciální technické výrobky, vložky mezi pružiny automobilů, s výhradou pro nezatížená ložiska, vodící díly, textilie potažené PTFE, hadice, těsnící šňůry a pásy.^{22, 24} Příklady výrobků jsou uvedeny na obrázku 3.8.</p>



Obrázek 3.8 - Příklad výrobků z PTFE materiálu²²

3.9 Polyvinylidenfluorid (PVDF)

Tabulka 3.9 - Používaný PVDF materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PVDF
<p>Tento materiál je vysoce krystalický a spojuje dobré mechanické, termické a elektrické vlastnosti s vynikající chemickou odolností. Při maximální přípustné provozní teplotě 150 °C trvale, vykazuje mechanickou pevnost, tuhost a odolnost proti tečení. Má hydrolytickou odolnost, vynikající odolnost proti vlivům počasí, UV záření a pronikavé radiaci, dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení. Má dobré dielektrické vlastnosti, je vhodný pro styk s potravinami, má velmi dobrou rozměrovou stálost a nízkou inherentní hořlavost. Nejčastěji se používá při obložení reaktorů, nádrží či potrubí, kde se očekává výbušné prostředí či je v nich přepravováno výbušné médium.²² Příklady výrobků a jsou uvedeny na obrázku 3.9.</p>



Obrázek 3.9 - Příklad výrobků z PVDF materiálu²²

3.10 Polyetereterketon (PEEK)

Tabulka 3.10 – Používaný PEEK materiál ve společnosti Belt Plast s.r.o.

PEEK	
<p>Tento materiál odolává extrémním teplotám chemickým, radiačním a elektricky náročným podmínkám. Jeho použití je velmi specifické používá se ve speciálních odvětvích průmyslu jako je jaderná energetika, chemie, kosmický výzkum, letectví, automobilový nebo elektrický průmysl. Je vhodný pro styk s potravinami a splňuje přísné kritéria potravinářských a farmaceutických provozů. PEEK má vynikající odolnost proti opotřebení v širokém rozpětí provozních podmínek, dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti, velmi dobrou odolnost proti tečení, dokonce i při zvýšených teplotách, inherentní nízká hořlavost a velmi nízká produkce kouře při hoření, vynikající chemická a hydrolytická odolnost, výborná odolnost proti pronikavé radiaci, dosahuje vysoké provozní teploty 250 až 310°C, má vysokou pevnost, tuhost, tvrdost a velmi dobrou rozměrovou stálost. Vyrábí se z něj součásti čerpadel, ozubená kola, sedla ventilů, ložiska.^{22,24} Příklady výrobků a polotovarů jsou uvedeny na obrázku 3.10.</p>	

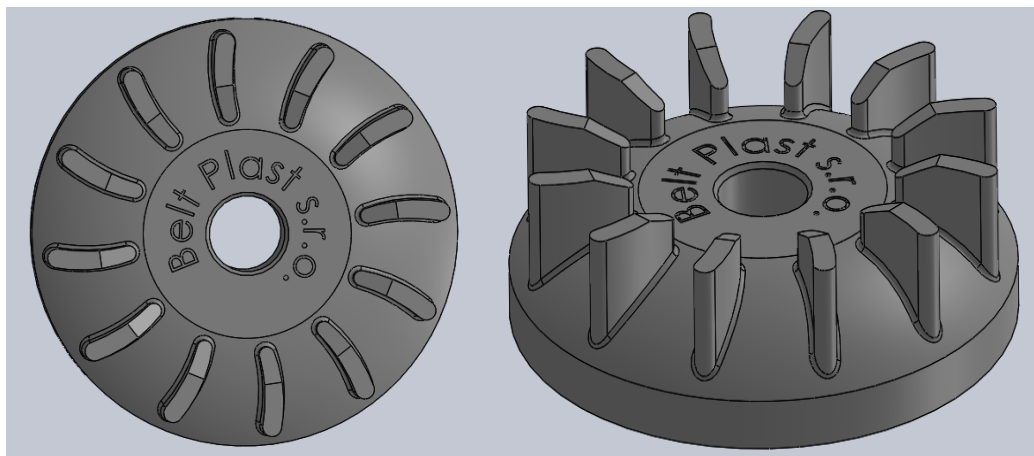


Obrázek 3.10 - Příklad výrobku (vlevo), polotovaru (vpravo) z PEEK materiálu²²

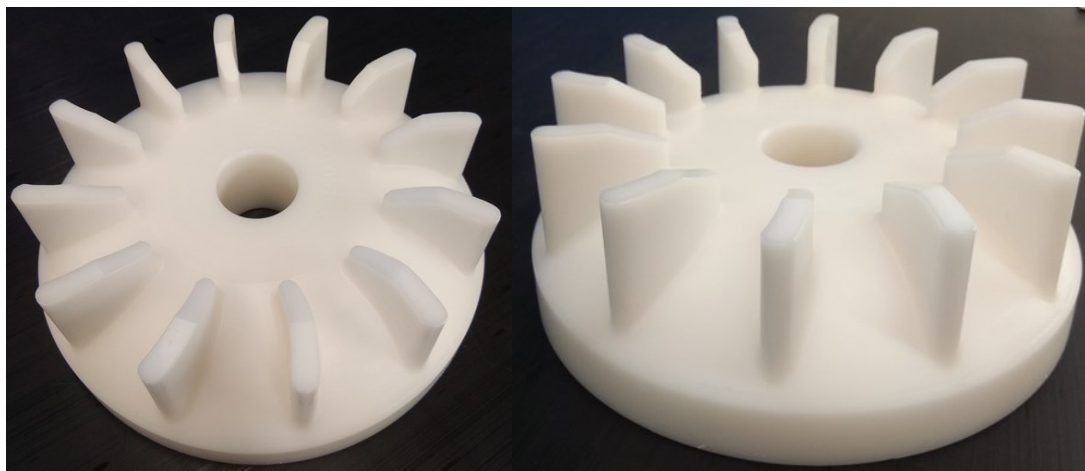
4 Popis vyráběné součásti

Lopatkové kolo je zadáno a vyrobeno ve společnosti pro její reklamní účel. Lopatkové kolo je vyrobeno z polyoxymetyleny bílé barvy. Je to rotační frézovaná součást o průměru 225 mm. Až na dělení polotovaru, probíhá kompletní obrobení součásti na 5 – ti osém obráběcím centru. Po obvodu kola je vyfrézováno dvanáct lopatek. Dále je ve středu kola vyfrézován otvor o průměru 40 mm, který slouží k případnému upevnění kola. Na čelní ploše lopatkového kola je vygravírován název společnosti. Součást je po vyrobení odjehlena, je provedena výstupní kontrola a následně může být připravena k expedici.

Výrobní výkres lopatkového kola je přiložen jako **Příloha A**. Lopatkové kolo je navrženo v CAD softwaru Solidworks, můžeme jej vidět na obrázku 4.1. Technologie obrábění je vytvořena v CAM softwaru Alphacam. Seřizovací list pro seřízení CNC stroje je přiložen v **příloze B**. Vygenerovaný NC kód, který byl generován přes postprocesor do jazyka řídicího systému stroje, je přiložen v **příloze C**. Z důvodu velikosti NC kódu je příloha pouze v elektronické podobě. Na obrázku 4.2 lze vidět vyrobené lopatkové kolo.



Obrázek 4.1 – 3D model lopatkového kola



Obrázek 4.2 – Lopatkové kolo

5 Popis materiálu součásti

Materiál lopatkového kola se nazývá polyoxymetylen a to konkrétně POM – C, je to částečný krystalický termoplast. Pro plastové materiály není nikde uvedeno konkrétní chemické složení, protože složení plastu se odvíjí od uhlíkového řetězce. Tyto uhlíkové řetězce jednotlivých plastových materiálů jsou tajemstvím firem, které se zabývají technologií výroby plastových materiálů. Z těchto důvodů uvádím v tabulce 5.1 pouze mechanické vlastnosti a v tabulce 5.2 tepelné vlastnosti materiálu, ze kterého je lopatkové kolo vyrobeno. Jednotlivé vlastnosti a jejich hodnoty jsou zjištěny z katalogů firmy, která společností Belt plast s.r.o. dodává materiál.

Tabulka 5.1 – Mechanické vlastnosti materiálu POM – C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota (ρ)	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,43
Mez kluzu (R_e), pevnost v tahu (R_m)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	68
Prodloužení při přetrhu (ε)	%	60
Modul pružnosti v ohybu (W_o)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	3000
Modul pružnosti v tahu (E)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	3500
Napětí v ohybu (σ_o)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	117
Rázová houževnatost (a_{cU})	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	> 90
Rázová vrubová houževnatost (KCU)	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	9
Tvrdost podle Brinella (HRB)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	135
Mezní napětí při prodloužení 1% (σ_p)	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	13
Tepelná tvarová odolnost (T_o)	$^{\circ}\text{C}$	115
Kluzný oděr	$\mu\text{m}\cdot\text{Km}^{-1}$	0,9

Tabulka 5.2 – Tepelné vlastnosti materiálu POM – C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Teplota měknutí (t_m)	$^{\circ}\text{C}$	167
Tepelná vodivost (λ)	$\text{W}/\text{k}\cdot\text{m}$	0,27
Měrná tepelná kapacita (c)	$\text{KJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$	1,46
Součinitel tepelné roztažnosti (γ)	$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$	100
Krátkodobá teplota při použití (t_k)	$^{\circ}\text{C}$	140
Trvalá teplota při použití (t_l)	$^{\circ}\text{C}$	-40 až 100

6 Použité stroje při výrobě lopatkového kola

6.1 Formátovací pila Kappa 40

Tato formátovací pila (Obrázek 6.1) je vyrobena rakouskou společností Format – 4. Formátovací pila je vybavena seřízením tří os, formátovacím posuvným stolem a masivní pilovou jednotkou. Díky své robustní konstrukci zaručuje dostatečnou přesnost při dělení materiálu. Na tomto stroji bylo provedeno dělení materiálu na rozměr polotovaru 235 x 235 x 75 mm. Technické parametry formátovací pily lze vidět v tabulce 6.1.



Obrázek 6.1 – Formátovací pila Kappa 40

Tabulka 6.1 Technické parametry formátovací pily Kappa 40 ²⁵

Parametr	Jednotka	Hodnota
Elektro výbava	V	3 x 400
Výkon motoru	kW	5,5
Rozmezí otáček	ot/min	2000 - 6000
Vyklonění pilové jednotky	°	45 – 90
Průměr pilového kotouče	mm	250 – 400
Maximální řezná výška	mm	133
Řezná šířka	mm	800
Maximální řezná délka	mm	2500
Hmotnost	kg	930

6.2 Obráběcí centrum ACCORD 25 FX – M

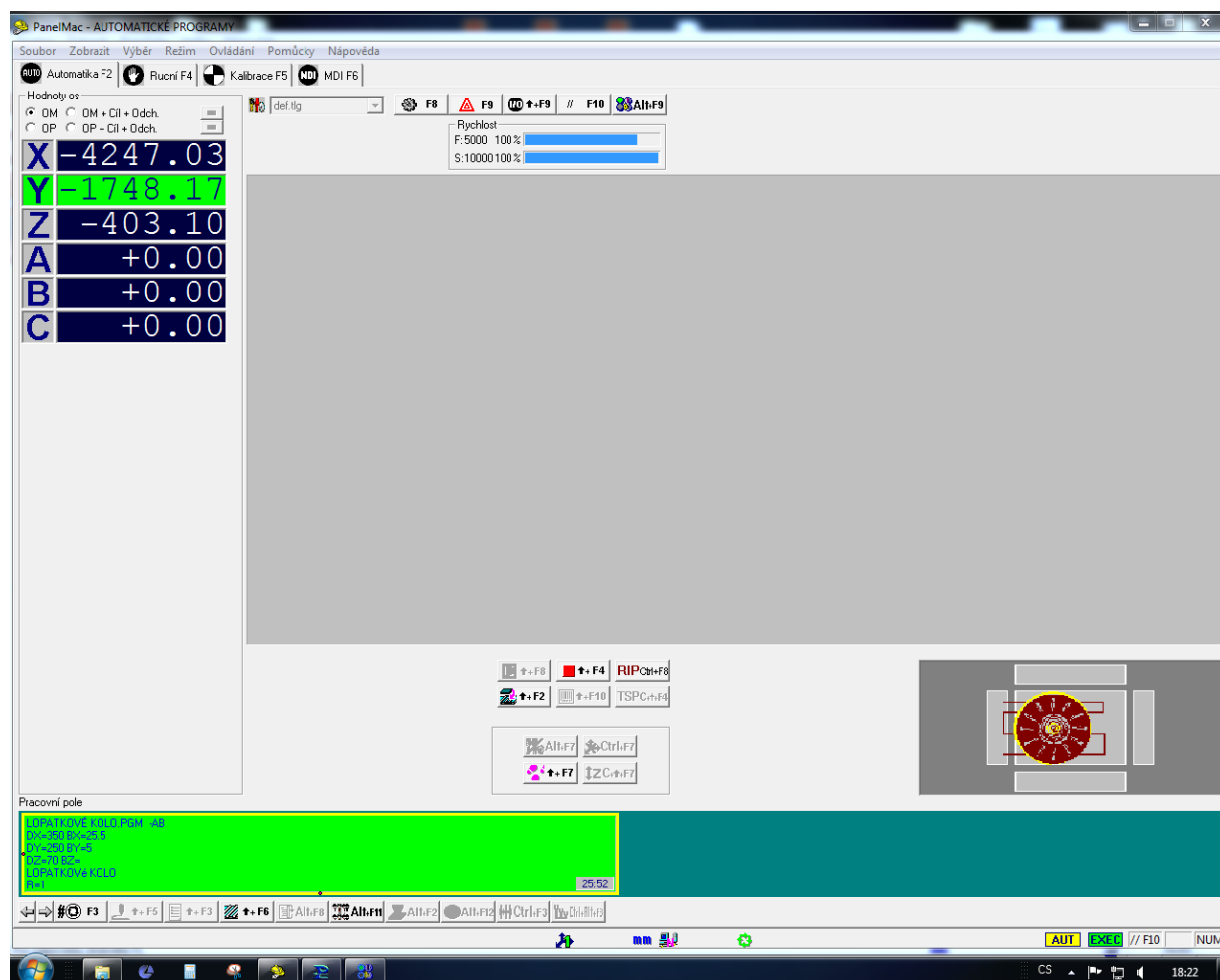
Tento stroj je univerzální obráběcí centrum (Obrázek 6.2), na kterém lze obrábět plasty, dřevo, agomerované materiály na bázi dřeva, kompozitů a slitin lehkých kovů. Toto obráběcí centrum je vyrobeno a dodáno firmou Panas. Z hlediska konstrukce je stroj řešen, jako portál díky čemu je dosažena dostatečná tuhost stroje i při obrábění ve vícesměnném provozu. Na stroji lze obrábět plošný materiál, ale i tvarově rozměrnější obrobky. Stroj může být vybaven 3 až 5 osými frézovacími elektrovřeteny a různě velkými vrtacími hlavami. Ve společnosti Belt Plast s.r.o. je toto obráběcí centrum vybaveno vřetenem, které je řízeno v 5 – ti osách. Je vybaven zásobníkem nástrojů s osmnácti pozicemi pro nástroje, kde probíhá automatická výměna nástrojů dle programu. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 6.2. Řídicím systémem obráběcího centra je Xilog plus a jeho prostředí lze vidět na obrázku 6.3.



Obrázek 6.2 – Obráběcí centrum ACCORD 25 FX - M

Tabulka 6.2 Technické parametry obráběcího centra ACCORD 25 FX – M ²⁶

Parametr	Jednotka	Hodnota
Pracovní plocha v ose X	mm	3650/4970/6170
Pracovní plocha v ose Y	mm	1320/1600/2120
Max. výška obrobku	mm	250
Výkon elektrovřetene (S6)	kW	12 – 15
Max. otáčky elektrovřetene	ot/min	24000
Nástrojová kapacita	Pozice	10 – 24



Obrázek 6.3 – Prostředí řídicího systému stroje Accord 25 FX - M

6.3 Seřizovací a měřicí přístroj Zoller Smile 400

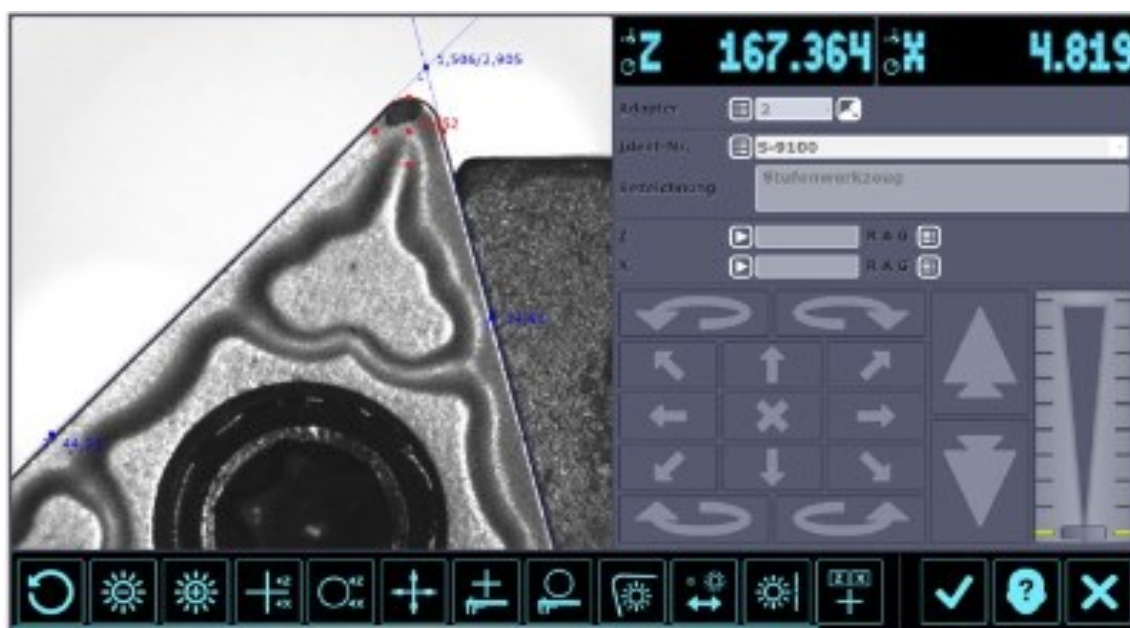
Tento seřizovací a měřicí přístroj (Obrázek 6.4) je dodán od společnosti Zoller. Ve společnosti Belt Plast s.r.o. slouží především k naměření délek a průměrů fréz používaných při výrobě. Kromě délek a průměrů je přístroj schopen naměřit rádius, opotřebení nástroje (Obrázek 6.5) a dále jednotlivé úhly řezné geometrie nástrojů. Mimo odměřování nástrojů ve společnostech, které se zabývají obráběním, tento přístroj využívají i výrobci nástrojů, v ostřírnách a při kontrole nástrojů. Při výrobě lopatkového kola je přístroj využit k naměření délek a průměrů fréz, které jsou použity. Přístroj je vybaven vřetenem SK50 s integrovanou kalibrační hranou a aretací. Technické parametry přístroje můžeme vidět v tabulce 6.3.



Obrázek 6.4 – Seřizovací a měřicí přístroj Zoller smile 400

Tabulka 6.3 Technické parametry seřizovacího a měřicího přístroje Zoller smile 400 ²⁷

Parametr	Jednotka	Hodnota
Maximální délka nástroje	mm	600
Maximální průměr nástroje	mm	420
Přejezd přes osu	mm	100

Obrázek 6.5 – Zjišťování opotřebení a měření vyštípnutí břitu pomocí přístroje Zoller ²⁷

7 Použité nástroje při výrobě lopatkového kola

- **Pilový kotouč**

Pilový kotouč, který byl použit při řezání polotovaru ve formátovací pile, byl vyroben a dodán od české firmy Pilana a.s. Tento kotouč je osazen řeznými břity z polykrystalických diamantů. Kotouč můžete vidět na obrázku 7.1. Jeho technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.1. Při řezání polotovaru je kotouč použit při 3500 ot·min⁻¹.



Obrázek 7.1 – Pilový kotouč od firmy Pilana a.s.

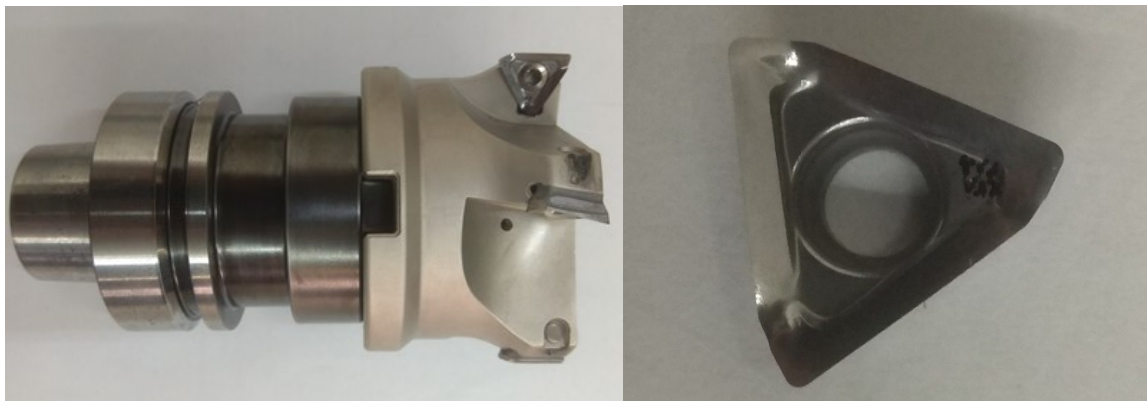
Tabulka 7.1 Technické parametry pilového kotouče Pilana a.s. ²⁹

Parametr	Jednotka	Hodnota
Vnější průměr	mm	300
Šířka zubu	mm	3,2
Síla těla	mm	2,2
Počet zubů	-	96
Upínací otvor	mm	30
Úhel čela zubu	°	10
N max.	ot·min ⁻¹	6370

- **Fréza ø 60 mm s VBD**

Tato fréza má průměr 60 mm a při výrobě lopatkového kola je použita pro přefrézování polotovaru na tl. 70 mm. Tato fréza má vyměnitelné břitové destičky, které jsou od firmy Iscar a mají označení TDCR 1500520PDFR – P 28. Samotná nástrčná fréza je taktéž od firmy Iscar a je připevněna v upínací od italské firmy Serinex S.r.l. Použitá

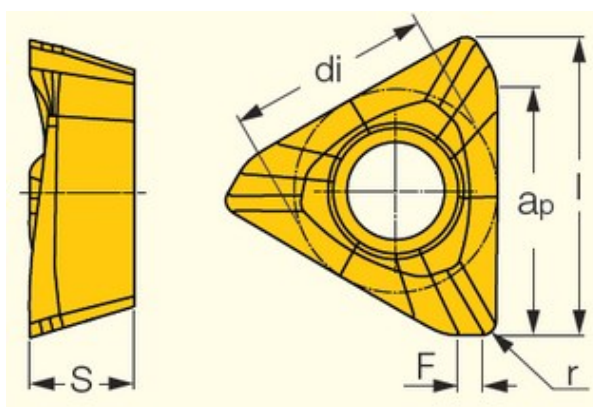
břitová destička má velmi pozitivní řeznou geometrii. Tato fréza má pět zubů. Frézu lze vidět na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2 – Fréza $\varnothing 60$ mm s VBD (vlevo), VBD TDCR 150520PDFR – P 28 (vpravo)

- **Vyměnitelná břitová destička TDCR 150520PDFR – P 28**

Parametry zvolené břitové destičky a doporučené podmínky pro obrábění jsou uvedeny v tabulce 7.2. Na obrázku 7.2 vpravo lze vidět břitovou destičku. Schéma parametrů lze vidět na obrázku 7.3. Tato Vyměnitelná břitová destička má trojúhelníkový tvar. Její úhel hřbetu α je 15° .



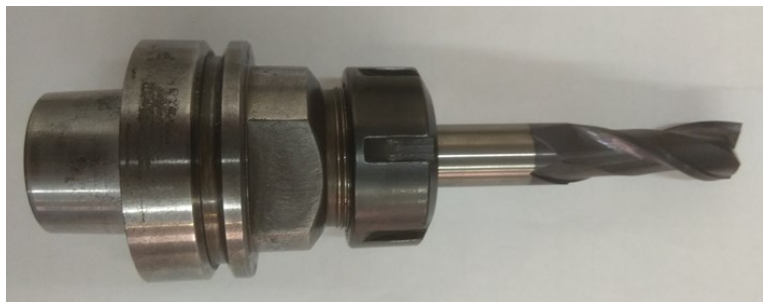
Obrázek 7.3 – Schéma parametrů břitové destičky²⁸

Tabulka 7.2 Parametry břitové destičky²⁸

Parametr	Jednotka	Hodnota
Délka destičky (l)	mm	16
Průměr vepsané kružnice (di)	mm	11,4
Tloušťka destičky (s)	mm	6
Vzdálenost mezi břity (a_p)	mm	12,3
Zaoblení břitu (r)	mm	2
Délka ostří (F)	mm	1
Hloubka řezu (a_p)	mm	1,5 – 13
Doporučený posuv (F_z)	mm	0,08 – 0,15
Řezná rychlost (v_c)	$m \cdot min^{-1}$	100 – 600

- **Stopková fréza \varnothing 18 mm**

Stopková fréza průměru 18 mm se při obrábění lopatkového kola používá pro hrubování a dokončování otvoru průměru 40 mm, dále se s ní hrubuje a dokončuje obvod lopatkového kola o průměru 225 mm a je také použita při frézování úkosu 24 x 8 mm. Fréza má dva zuby a je vyrobena z rychlořezné oceli a lze ji vidět na obrázku 7.4. Fréza je upnuta v kleštinovém upínači od firmy Serinex S.r.l.



Obrázek 7.4 – Stopková fréza \varnothing 18 mm

- **Úhlová fréza 90 x 12 mm**

Fréza je použita při sražení hrany 2 x 45° na průměru otvoru 40 mm. Fréza je z rychlořezné oceli a lze ji vidět na obrázku 7.5. Stejně jako stopková fréza je úhlová fréza vyrobena z rychlořezné oceli. A je upnuta v kleštinovém upínači od firmy Serinex S.r.l.



Obrázek 7.5 – Úhlová fréza 90 x 12 mm

- **Stopková fréza \varnothing 12 mm**

Stopková fréza průměru 12 mm má dva zuby, je vyrobena z rychlořezné oceli a při obrábění lopatkového kola hrubuje prostor mezi lopatkami a tvar lopatek. Stejně jako předchozí frézy je tato stopková fréza upnuta v kleštinovém upínači od firmy Serinex S.r.l. Tato stopková fréza má 2 zuby. Tuto stopkovou frézu lze vidět na obrázku 7.6.



Obrázek 7.6 – Stopková fréza \varnothing 12 mm

- **Kulová fréza \varnothing 6 mm**

Kulová fréza průměru 6 mm se používá při výrobě lopatkového kola k dokončování ploch mezi lopatkami a dokončení lopatek. Fréza je upnuta v kleštinovém upínači od firmy Serinex S.r.l. Fréza je vyrobena z rychlořezné oceli a lze ji vidět na obrázku 7.7.



Obrázek 7.7 – Kulová fréza \varnothing 6 mm

- **Gravírovací fréza \varnothing 1,5 mm**

Gravírovací fréza průměru 1,5 mm je použita při gravírování nápisu společnosti Belt plast s.r.o. fréza je z rychlořezné oceli a je upevněna v kleštinovém upínači od firmy Serinex S.r.l. Fréza má dva zuby a je zobrazena na obrázku 7.8.

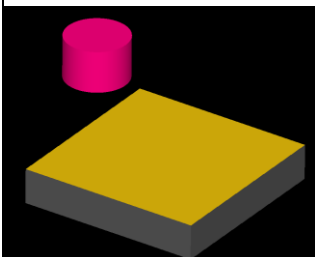
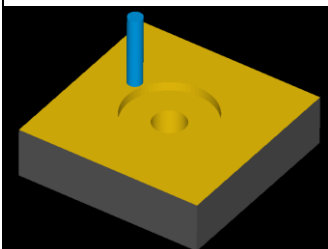


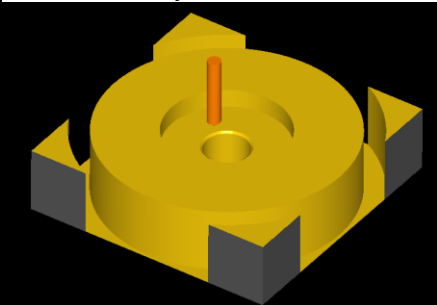
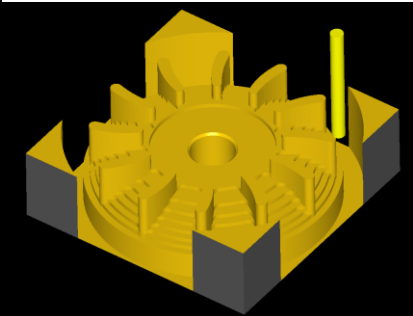
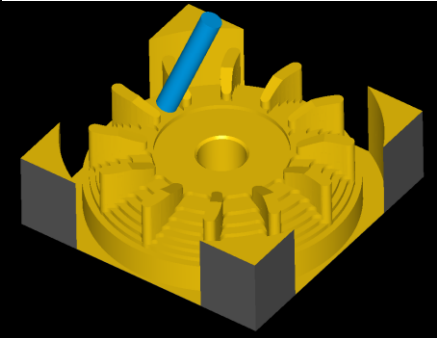
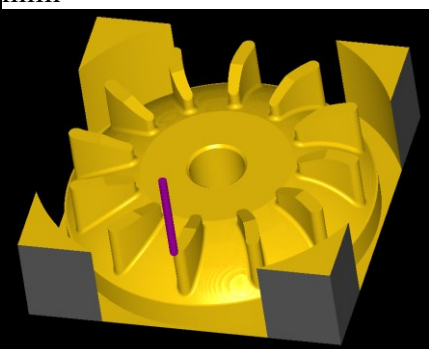
Obrázek 7.8 – Gravírovací fréza \varnothing 1,5 mm

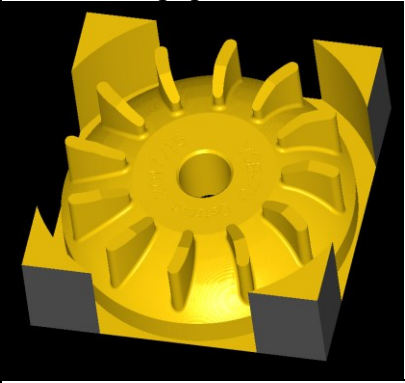
8 Technologický postup

V technologickém postupu jsou otáčky voleny dle zkušeností technologa společnosti Belt plast s.r.o. a jsou voleny s ohledem na obráběný materiál. Do programu Alphacam jsou tyto otáčky zadávány a následná řezná rychlost a posuv na zub jsou dopočítány dle předepsaného vzorce pro výpočet řezné rychlosti a posuvu na zub. Posuv na zub je dopočítán z posuvu, který byl zadán do programu. Strojní časy byly zjištěny při výrobě lopatkového kola. Technologický postup je uveden v tabulce 8.1. Příklady výpočtů pro řeznou rychlost (8.1), posuv na zub (8.2) a jednotlivého času operace (8.3) jsou uvedeny pod technologickým postupem.

Tabulka 8.1 Technologický postup výroby lopatkového kola

Tabulka 6.1 Technologický postup výroby lopatkového kola									
Technologický postup		VŠB – TUO Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie		Název součásti: Lopatkové kolo			Listů: 3		
Materiál: POM - C				Polotovar součásti: 235 x 235 x 70					
Hmotnost: 2,39 kg				Třída odpadu: 001			Počet kusů: 1		
Op./úsek Pracoviště	POPIS PRÁCE	Stroj Nástroj Pomůcky Měřidla	Výrobní podmínky:						
			f _z	i	v _c	n	T _{AC} /T _{BC}		
			[mm]	-	[m • min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min]		
10/1 Řezání polotovaru	-Kontrola správnosti druhu materiálu -Řezat polotovar z desky na rozměr 235 x 235 x70 mm	- Pila Kappa 40 - Pilový kotouč ø300 mm, z = 96	-	1	3298,7	3500	1		
20/1 Frézování	-Polotovar upnout na vakuový stůl -Oboustranně přefrézovat na tl. 70 mm 	-Accord 25 FX - M - Fréza s VBD, ø 80 mm, z = 5 VBD: TDCR 1505PDFR-P28	0,15	2	1331,4	5300	3,3		
20/2 Frézování	-Hrubovat otvor ø 40 mm -Hrubovat kruhovou kapsu ø 110 mm 	-Accord 25 FX - M - Stopková fréza ø 18 mm, z = 2 -Posuvné měřidlo	0,25	8	169,7	3000	2		
			0,22	5	254,5	4500	2		

Op./úsek Pracoviště	POPIS PRÁCE	Stroj Nástroj Pomůcky Měřidla	Výrobní podmínky:				
			f_z	i	v_c	n	T_{AC}/T_{BC}
			[mm]	-	[m • min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min]
20/3 Frézování	-Hrubovat \varnothing 225 mm spirálně -Dokončit \varnothing 225 mm -Dokončit otvor \varnothing 40 mm -Dokončit kruhovou kapsu \varnothing 110 mm -Sražení hrany 2 x 45°	-Accord 25 FX - M -Stopková fréza \varnothing 18 mm -Uhlová fréza 90° x 12 mm -Posuvné měřidlo	0,22	7	254,5	4500	3
			0,19	1	226,2	4000	1
			0,17	1	169,7	3000	1
			0,25	1	169,7	3000	1
			0,2	1	150,8	4000	1
20/3 Frézování							
20/4 Frézování	-Hrubovat lopatky a plochy mezi nimi	-Accord 25 FX - M -Stopková fréza \varnothing 12 mm	0,23	14	113,1	3000	32
20/4 Frézování							
20/5 Frézování	-Frézovat úkos 24,8 x 8 mm	-Accord 25 FX - M -Stopková fréza \varnothing 18 mm	0,25	12	169,7	3000	3
20/5 Frézování							
20/6 Frézování	-Dokončit lopatky a plochy mezi nimi	-Accord 25 FX - M -Kulová fréza \varnothing 6 mm	0,25	-	188,5	10000	52
20/6 Frézování							

Op./úsek Pracoviště	POPIS PRÁCE	Stroj Nástroj Pomůcky Měřidla	Výrobní podmínky:				
			f_z	i	v_c	n	T_{AC}/T_{BC}
			[mm]	-	[m · min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min]
20/6 Frézování	-Gravírovat popis Belt Plast s.r.o. 	-Accord 25 FX - M -Gravírovací fréza ø 1,5 mm -Posuvné měřidlo	0,24	1	23,6	5000	2
30/1 Odjehlení	-Vyřezat díl z desky -Ručně odjehlít a srazit hrany -Očistit od mastnoty -Předat k výstupní kontrole		-	-	-	-	-
40/1 Kontrola výstupní	-Zkontrolovat všechny důležité rozměry dle výrobního výkresu	-Posuvné měřidlo -Kalibr	-	-	-	-	-

• Příklad výpočtu řezné rychlosti

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{80 \cdot \pi \cdot 5300}{1000} \quad (8.1)$$

$$v_c = 1331,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

v_c ... Řezná rychlost [m · min⁻¹]

D ... Průměr nástroje [mm]

n ... Otáčky nástroje [min⁻¹]

- **Příklad výpočtu posuvu na zub**

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} = \frac{4000}{5 \cdot 5300} \quad (8.2)$$

$$f_z = 0,15 \text{ mm}$$

f_z ... Posuv na zub [mm]

v_f ... Posuvová rychlost [mm·min⁻¹]

z ... Počet zubů [-]

n ... Počet otáček [min⁻¹]

- **Příklad výpočtu strojního času při operaci 20/1**

$$T_{AC2} = \frac{L \cdot i}{f_z \cdot n} = \frac{2595 \cdot 3}{0,15 \cdot 5300} \quad (8.3)$$

$$T_{AC2} = 3,3 \text{ min}$$

T_{AC2} ... Strojní čas pro druhou operaci [min]

L ... Délka dráhy nástroje [mm]

i ... Počet drah nástroje [-]

f_z ... Posuv na zub [mm]

n ... Počet otáček [min⁻¹]

9 Technicko – ekonomické zhodnocení

V technicko – ekonomickém zhodnocení je cílem vypočítat náklady na výrobu jednoho kusu, prodejní cenu jednoho kusu a rozdíl mezi náklady a příjmy při výrobě jednoho kusu. V tomto případě výroby lopatkového kola se jedná o kusovou výrobu. Strojní čas u jednotlivých operací byl sečten a celkový čas výroby je **102 min.**

• Přípravný čas

Čas byl v průběhu přípravy stopován a zaznamenán. Do času přípravy je zahrnuto navrhnutí výrobku, vytvoření výkresu, technologického postupu, vytvoření technologie obrábění, příprava materiálu a příprava nástrojů. Po ukončení času na přípravu byl naměřen čas **225 min.**

• Výpočet strojního času

$$T_{AC} = T_{AC1} + T_{AC2} + \dots T_{AC12} = 1 + 3,3 + \dots 2 \quad (9.1)$$

$$T_{AC} = 102 \text{ min} = 1,7 \text{ hod}$$

T_{AC} ...Celkový strojní čas [min]

T_{AC1-12} Čas jednotlivých operací [min]

• Výpočet nákladů na vyměnitelné břitové destičky

Výpočet nákladů na vyměnitelné břitové destičky se provádí pouze u prvního kusu a to z toho důvodu, že životnost vyměnitelné břitové destičky se pohybuje v řádech několika měsíců, jak bylo zjištěno u pracovníků společnosti. Náklady na upínače nástrojů od firmy Serinex S.r.l a nástroje z rychlořezné oceli se v nákladech neuvádí a to z důvodu toho, že jsou ve společnosti již nakoupeny. Při výpočtu počítáme s pěti vyměnitelnými břitovými destičkami a to z důvodu, že do čelní nástrčné frézy lze upevnit pět vyměnitelných břitových destiček.

$$N_D = N_{D1} + N_{D2} + \dots N_{D5} = 300 + 300 + \dots 300 \quad (9.2)$$

$$N_D = 1\,500 \text{ Kč}$$

N_D Náklady na vyměnitelné břitové destičky [Kč]

N_{D1-5} Náklady na jednotlivé vyměnitelné břitové destičky [Kč]

- **Výpočet strojních nákladů**

Od pracovníků společnosti byla zjištěna hodinová sazba stroje, která činí pro stroj Accord 25 FX – M **1000 Kč na hodinu**. V hodinové sazbě stroje jsou zahrnuty tyto aspekty cena stroje, předpokládaná návratnost pořizovací ceny stroje, předpoklad životnosti stroje, náklady na energii (provoz stroje, osvětlení, atd.), pronájem za prostory, režijní náklady (údržba stroje).

$$N_S = T_{AC} \cdot HS = 1,71 \cdot 1000 \quad (9.3)$$

$$N_S = 1\,710 \text{ Kč}$$

N_S ... Strojní náklady [Kč]

HS ... Hodinová sazba stroje [Kč]

- **Náklady na materiál**

Náklady na materiál jsou počítány z hmotnosti polotovaru a ceny za 1 kg materiálu. Cena 1 kg materiálu POM – C je **120 Kč**. Tato cena byla zjištěna od pracovníků společnosti. Hmotnost polotovaru o rozměrech 235 x 235 x 75 mm je **5,1 kg**.

$$N_m = m \cdot C_m = 5,1 \cdot 120 \quad (9.4)$$

$$N_m = 612 \text{ Kč}$$

N_m ... Náklady na materiál [Kč]

m ... Hmotnost polotovaru [kg]

C_m ... Cena za 1 kg materiálu [Kč]

- **Náklady na zaměstnance**

Tato položka se liší výškou platu zaměstnance a přepočítává se ze super hrubé mzdy. Zvolil jsem tedy průměrný tarif zaměstnance ve společnosti Belt Plast s.r.o., který je **270 Kč**. Z předešlých výpočtů trvala výroba součásti **1,7 hod**.

$$N_z = HS_Z \cdot T_{AC} = 270 \cdot 1,7 \quad (9.5)$$

$$N_z = 459 \text{ Kč}$$

N_z ... Náklady na zaměstnance [Kč]

HS_Z ... Hodinová sazba zaměstnance [Kč]

- **Výpočet celkových nákladů na výrobu jednoho kusu**

Výpočet celkových nákladů na výrobu jednoho kusu bude zahrnovat strojní náklady, náklady na vyměnitelné břitové destičky, náklady na materiál a náklady na zaměstnance.

$$N_c = N_S + N_D + N_m + N_z = 1710 + 1500 + 612 + 459 \quad (9.6)$$

$$N_c = 4\,281 \text{ Kč}$$

N_c ... Celkové náklady na výrobu jednoho kusu [Kč]

- **Výpočet prodejní ceny**

Ve společnosti Belt Plast s.r.o. se prodejní cena počítá připočtením 30 % ceny za celkové náklady. Tedy **30%** z celkových nákladů, je **1284,3 Kč** což, je zároveň i rozdíl příjmů a nákladů pro výrobu lopatkového kola.

$$P_c = N_c + 30\% = 4\,281 + 1284,3 \quad (9.7)$$

$$P_c = 5\,565,3 \text{ Kč}$$

P_c ... Prodejní cena jednoho kusu [Kč]

- **Výpočet celkových nákladů na výrobu jednoho kusu bez nákladů na VBD**

V tomto výpočtu jsou uvedeny celkové náklady na výrobu jednoho kusu bez nákladů na VBD a to z důvodu že životnost VBD je několik měsíců a při výrobě dalších kusů se již nezapočítávají pořizovací náklady VBD.

$$N_{c1} = N_S + N_m + N_z = 1710 + 612 + 459 \quad (9.8)$$

$$N_{c1} = 2\,781 \text{ Kč}$$

N_{c1} ... Celkové náklady na výrobu jednoho kusu bez nákladů na VBD [Kč]

- **Výpočet prodejní ceny bez nákladů na VBD**

Prodejní cena se v tomto případě počítá stejně jako v předchozím případě a to přičtením 30 % ceny z nákladů na výrobu bez nákladů na VBD, činí tedy **834,3 Kč**, je to tedy zároveň i rozdíl příjmů a nákladů na výrobu jednoho kusu bez započtení nákladů na VBD.

$$P_{c1} = N_{c1} + 30\% = 2\,781 + 834,3 \quad (9.9)$$

$$P_{c1} = 3\,615,3 \text{ Kč}$$

P_{c1} ... Prodejní cena jednoho kusu bez nákladů na VBD [Kč]

• Shrnutí

Technicko – ekonomickým hodnocením byl zjištěn celkový čas výroby který byl **102 min** a příprava výroby, která byla naměřena na **225 min**. Dále byly spočítány náklady na výrobu, které činily **4 281 Kč**, prodejní cena byla vypočítána na **5 565,3 Kč**, pro výrobu kde byly započítány pořizovací náklady na VBD. Pro výrobu více kusů bylo potřeba spočítat náklady a prodejní cenu bez pořizovacích nákladů na VBD. Bez pořizovacích nákladů na VBD byly náklady na výrobu spočítány na **2 781 Kč** a prodejní cena byla stanovena na **3 615,3 Kč**. Do celkových nákladů na výrobu nebyli, zahrnuti pořizovací náklady na kleštinové upínače od firmy Serinex S.r.l. stejně tak nebyli do celkových nákladů zahrnuti pořizovací ceny za nástroje z rychlořezné oceli a to z důvodů, že kleštinové upínače a nástroje z rychlořezné oceli jsou již ve společnosti Belt Plast s.r.o. zakoupeny. Rozdíl mezi celkovými náklady na výrobu s ohledem na pořizovací cenu vyměnitelných břitových destiček a celkovými náklady na výrobu bez započítání nákladů na pořizovací cenu vyměnitelných břitových destiček je **1500 Kč**. V případě, že by byla zavedena výroba s větším počtem vyrobených kusů lopatkového kola, rozpočítali by se náklady na vyměnitelné břitové destičky mezi vyráběný počet kusů.

10 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout novou technologii výroby lopatkového kola a vyhodnotit náklady na jeho výrobu. Diplomová práce byla zadána ve společnosti Belt Plast s.r.o. V průběhu práce jsem byl seznámen s obráběním plastových dílů od návrhu přes proces výroby a logistiky až po výstupní kontrolu. Seznámil jsem se jak s materiálovým tokem tak i se stroji, které vlastní společnost Belt Plast s.r.o.

Lopatkové kolo bylo navrženo a vyrobeno pro reklamní účely společnosti, tak aby zákazník dokázal vyhodnotit technické možnosti výroby společnosti výrobků z plastu. Prvním krokem bylo navrhnout a zpracovat 3D model výrobku v CAD systému Solidworks, dále vytvořit technickou dokumentaci (výkres součásti, technologický postup). Poté zpracovat technologii obrábění v CAM systému Alphacam (určení jednotlivých drah nástrojů za daných řezných podmínek, vytvořit seřizovací list, vygenerovat NC kód). A v poslední řadě vyrobil zadanou součást (příprava materiálu, naměření nástrojů, zadání hodnot nástrojů do CNC stroje, samotná výroba součásti, případná oprava drah a korekcí nástroje, kontrola výrobku). Cílem bylo zjistit náklady na výrobu z technicko – ekonomického hlediska.

V diplomové práci jsou popsány nejčastěji používané materiály ve společnosti Belt Plast s.r.o., dále je zde popsáno lopatkové kolo, materiál lopatkového kola a jeho vlastnosti, použité stroje a nástroje s jejich technickými parametry, dále je uveden navrhnutý a vypracovaný technologický postup součásti. Přílohy, které jsou součástí této diplomové práce, obsahují výrobní výkres součásti, seřizovací list a vygenerovaný NC kód v elektronické podobě

Z hlediska časů výroby trvala výroba součásti 102 min. Z pohledu přípravných časů, byl přípravný čas naměřen a zaznamenán a příprava trvala 225 min.

Výrobní náklady s ohledem na pořizovací cenu VBD byly 4 281 Kč, prodejní cena činila 5 565,3 Kč a zisk na výrobku lopatkového kola byl 1 284,3 Kč. Výrobní náklady, které nezahrnovali náklady na VBD, byly vypočteny 2 781 Kč, prodejní cena byla 3 615,3 Kč a výdělek jednoho kusu lopatkového kola činil 834,3 Kč. Rozdíl mezi jednotlivými náklady na výrobu s ohledem započítání nákladů na vyměnitelné břitové destičky a bez vyměnitelných břitových destiček činí 1500 Kč.

Přínosem pro společnost bylo zjištění nákladů na výrobu lopatkového kola a případnou představu o složitosti obrábění podobně tvarově složitých součástí. Dalším přínosem byl nestranný pohled na proces výroby, získání nových poznatků o možnostech úprav a zpřesnění procesu výroby a rezervách v tomto procesu. Může se zdát, že proces

třískového obrábění je všeobecně známy a zvládnutý a že společnost v tomto oboru nemá co vylepšovat, lze nyní konstatovat, že možnosti zlepšování jsou vždy možné, a že se podařilo některé z těchto vylepšení a zdokonalení identifikovat, poučit a zavést do praxe.

Poděkování

Děkuji Ing. Jiřímu Kratochvílovi Ph.D., z Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie VŠB – TU Ostrava za cenné a podnětné rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Děkuji Luboši Slabému a Františku Nováčkovi za poskytnutí dat, cenných informací a za umožnění vypracování diplomové práce ve společnosti Belt Plast s.r.o. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2018/136 Specifický výzkum v oblasti obrábění a strojírenské metrologie s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Seznam použité literatury

1. GERDEEN, James C, Harold W LORD a Ronald A RORRER. *Engineering Design With Polymers and Composites*. 2. vydání. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006, 349 s. ISBN 9780824723798
2. Štěpek, J., Zelengr, Kuta. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL, Praha 1989. 637 s.
3. Hidwéghy, J. *Nekovové konstrukčné materiály*. Košice 1993
4. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 258 s.
5. LENFELD, Petr. *Technologie II - Zpracování plastů*. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. [online]. Liberec, 2010 [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skriptatkp/sekceplasty/obsahplasty.htm
6. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. [online]. Liberec, 2014 [cit. 2017-12-15]. ISBN978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
7. PROGELHOF, Richard C a James L THRONE. *Polymer Engineering Principles: Properties, Processes, and Tests For Design*. 1. vydání. Cincinnati: Hanser/Gardner, 1993, 918 s. ISBN 1569901511
8. *Vstřikování plastů. Výroba plastu*. [online]. 2016 [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.vyrobaplastu.eu/vstrikovani-plastu/>
9. LENFELD, Petr. *Výfukování, výroba dutých těles*. Technická univerzita Liberec: Fakulta strojní, katedra strojírenské technologie [online]. Liberec [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm
10. KOVAČIČ, L'udomír a Jaroslav BÍNA. *Plasty: Vlastnosti, spracovanie, využitie*. Bratislava: ALFA, 1974.
11. *Plasty - Konstrukční materiály*. Praha: PLAST FORM SERVICE, 2001. ISBN 12-13-2640.
12. SOVA, Miloš, KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.

13. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
14. KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita, 2006. 250 s. ISBN 80-7372-133-53.
15. DULA, Jan. *Obrábění nekovových materiálů* [online]. Uherské Hradiště, 2012 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/obr-nekovu.pdf>.
16. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy, 2016 [cit. 2018-01-22]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
17. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. vydání, v Akademickém nakl. CERM 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 240 s. ISBN 80-214-2683-7.
18. SAECHTLING, Hansjürgen. *Kunststoff-Taschenbuch*. 26. überarb. Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 3-446-17855-4.
19. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Svitavy, 2016 [cit. 2018-01-22]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
20. KVH-Hartung: *Transport Containers* [online]. 2013 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://www.kvh-hartung.de/eng/kvh-hartung-products/KVH-transport-containers12.htm>
21. *Výrobky pro hospodaření s vodou z rotačně tvářených plastů*. [online]. 2015 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/vyrobky-pro-hospodareni-s-vodou-z-rotacne-tvarenych-plastu-24100.html>
22. *Návod na obrábění polotovárů technických plastů*. [online]. [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://plastum.cz/navod-na-obrabeni/>
23. *CNC frézování*. [online]. [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://www.pab.cz/cnc-frezovani>
23. *Xtrude International* [online]. [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://xtrudeinternational.com/#>
24. *Belt Plast* [online]. 2009 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.beltplast.cz/>

25. *Formátovací pila Kappa 40* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.felder-group.com/cz-cz/vyroby/formatovaci-pily/formatovaci-pila-kappa-40-x-motion.html>
26. *Accord 25 FX - M* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.panas.cz/katalog/CNC%20obr%C3%A1b%C4%9B%C3%AD%20centra/prod ukt/accord-25-fx-m>
27. *Zoller smile 400* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: http://zoller.cz/wp-content/uploads/2016/06/smile_pilot_1.pdf
28. *Břítová destička TDCR 1505PDFR - P 28* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2310>
29. *Pilový kotouč od firmy Pilana a.s.* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/pilovy-kotouc-pkd-300x3-2-2-2x30-5377-96-tfz-dia-5-0-mm/>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1- STRUKTURA TERMOPLASTU (VLEVO), STRUKTURA REAKTOPLASTU (VPRAVO) ⁴	13
OBRÁZEK 1.2- POLYMER, PLASTY, KOMPOZITY ³	13
OBRÁZEK 1.3 - SCHÉMA NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURY AMORFNÍ (VLEVO), KRYSTALICKÉ (VPRAVO) ⁶	14
OBRÁZEK 1.4 - ROZDĚLENÍ NEKOVOVÝCH MATERIÁLŮ ¹⁵	15
OBRÁZEK 1.5 - ROZDĚLENÍ POLYMERŮ ¹⁵	16
OBRÁZEK 1.6 - STRUKTURA PLASTU PLNĚNÉHO SKLENÝMI VLÁKNY ⁵	16
OBRÁZEK 1.7 - PŘÍKLAD STÁRnutí POLYMERŮ PŘI ZVÝŠENÉ TEPLOTĚ A VLHKOSTI PROSTŘEDÍ ¹⁶	19
OBRÁZEK 2.1 - PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ ⁸	20
OBRÁZEK 2.2 - PRINCIP LISOVÁNÍ PLASTŮ ⁵	21
OBRÁZEK 2.3 - PRINCIP PŘETLAČOVÁNÍ PLAST ¹⁸	21
OBRÁZEK 2.4 - PŘÍKLADY VÝROBKŮ PRO TECHNOLOGII VYTLAČOVÁNÍ ²³	22
OBRÁZEK 2.5 - SCHÉMA VYTLAČOVACÍHO STROJE ¹⁹	22
OBRÁZEK 2.6 - PRINCIP VSTŘIKOVACÍHO VYFUKOVÁNÍ S PŘERUŠOVANÝM PROCESEM ⁹	23
OBRÁZEK 2.7 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ ZHOTOVENÝCH TVAROVÁNÍM ²⁰	24
OBRÁZEK 2.8 - SCHÉMA VÁLCOVACÍ LINKY ¹⁹	24
OBRÁZEK 2.9 – PŘÍKLAD ROTAČNÍHO LITÍ (VLEVO) ²¹ , PŘÍKLAD POLOTOVARŮ STATICKÉHO LITÍ (VPRAVO) ¹⁹	25
OBRÁZEK 2.10 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ ZHOTOVENÉ 3D TISKEM	26
OBRÁZEK 2.11 - SOUSTRUŽENÍ PLASTU (VLEVO) ²² , FRÉZOVÁNÍ PLASTU (VPRAVO) ²³	29
OBRÁZEK 2.12 - VRTÁNÍ PLASTU (VLEVO) ²² , PILOVÝ KOTOUČ PRO ŘEZÁNÍ PLASTU (VPRAVO) ²²	29
OBRÁZEK 3.1 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ Z PA MATERIÁLU ²²	31
OBRÁZEK 3.2 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ Z POM MATERIÁLU ²²	31
OBRÁZEK 3.3 - PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PE MATERIÁLU ²²	32
OBRÁZEK 3.4 – PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PC MATERIÁLU ²²	33
OBRÁZEK 3.5 - PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PET MATERIÁLU ²²	33
OBRÁZEK 3.6 – PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PVC MATERIÁLU ²²	34
OBRÁZEK 3.7 – PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PP MATERIÁLU	34
OBRÁZEK 3.8 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ Z PTFE MATERIÁLU ²²	35
OBRÁZEK 3.9 - PŘÍKLAD VÝROBKŮ Z PVDF MATERIÁLU ²²	36
OBRÁZEK 3.10 - PŘÍKLAD VÝROBKU (VLEVO), POLOTOVARU (VPRAVO) Z PEEK MATERIÁLU ²²	36
OBRÁZEK 4.1 – 3D MODEL LOPATKOVÉHO KOLA	37
OBRÁZEK 4.2 – LOPATKOVÉ KOLO	37
OBRÁZEK 6.1 – FORMÁTOVACÍ PILA KAPPA 40	39
OBRÁZEK 6.2 – OBRÁBĚCÍ CENTRUM ACCORD 25 FX - M	40
OBRÁZEK 6.3 – PROSTŘEDÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STROJE ACCORD 25 FX - M	41
OBRÁZEK 6.4 – SEŘIZOVACÍ A MĚŘICÍ PŘÍSTROJ ZOLLER SMILE 400	42
OBRÁZEK 6.5 – ZJIŠŤOVÁNÍ OPOTŘEBENÍ A MĚŘENÍ VYŠTÍPNUTÍ BŘITU POMOCÍ PŘÍSTROJE ZOLLER ²⁷	42
OBRÁZEK 7.1 – PILOVÝ KOTOUČ OD FIRMY PILANA A.S.	43
OBRÁZEK 7.2 – FRÉZA Ø 60 MM S VBD (VLEVO), VBD TDCR 150520PDFR – P 28 (VPRAVO)	44
OBRÁZEK 7.3 – SCHÉMA PARAMETRŮ BŘITOVÉ DESTIČKY ²⁸	44
OBRÁZEK 7.4 – STOPKOVÁ FRÉZA Ø 18 MM	45

OBRÁZEK 7.5 – ÚHLOVÁ FRÉZA 90 X 12 MM	45
OBRÁZEK 7.6 – STOPKOVÁ FRÉZA Ø 12 MM.....	46
OBRÁZEK 7.7 – KULOVÁ FRÉZA Ø 6 MM	46
OBRÁZEK 7.8 – GRAVÍROVACÍ FRÉZA Ø 1,5 MM	46

Seznam tabulek

TABULKA 3.1 - POUŽÍVANÉ PA MATERIÁLY VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.....	30
TABULKA 3.2 - POUŽÍVANÉ POM MATERIÁLY VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	31
TABULKA 3.3 - POUŽÍVANÉ PE MATERIÁLY VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	32
TABULKA 3.4 - POUŽÍVANÝ PC MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	33
TABULKA 3.5 - POUŽÍVANÝ PET MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.....	33
TABULKA 3.6 - POUŽÍVANÝ PVC MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	34
TABULKA 3.7 - POUŽÍVANÝ PP MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	34
TABULKA 3.8 - POUŽÍVANÝ PTFE MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	35
TABULKA 3.9 - POUŽÍVANÝ PVDF MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.....	35
TABULKA 3.10 – POUŽÍVANÝ PEEK MATERIÁL VE SPOLEČNOSTI BELT PLAST S.R.O.	36
TABULKA 5.1 – MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU POM – C.....	38
TABULKA 5.2 – TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU POM – C	38
TABULKA 6.1 TECHNICKÉ PARAMETRY FORMÁTOVACÍ PILY KAPPA 40 ²⁵	39
TABULKA 6.2 TECHNICKÉ PARAMETRY OBRÁBĚCÍHO CENTRA ACCORD 25 FX – M ²⁶	40
TABULKA 6.3 TECHNICKÉ PARAMETRY SEŘIZOVACÍHO A MĚŘÍCÍHO PŘÍSTROJE ZOLLER SMILE 400 ²⁷	42
TABULKA 7.1 TECHNICKÉ PARAMETRY PILOVÉHO KOTOUČE PILANA A.S. ²⁹	43
TABULKA 7.2 PARAMETRY BŘITOVÉ DESTIČKY ²⁸	44
TABULKA 8.1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY LOPATKOVÉHO KOLA	47

Seznam příloh

Příloha A	Výrobní výkres součásti
Příloha B	Seřizovací list
Příloha C	Vygenerovaný NC kód (pouze v elektronické podobě)